



Научно-технический журнал
Издается с 2003 года.
Выходит шесть раз в год.

№3 (53) 2014
(май-июнь)

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

Редакционный совет:

Голенков В.А. д.т.н., проф., председатель
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. к.т.н., доц., секретарь
Астафичев П.А. д.ю.н., проф.
Иванова Т.Н. д.т.н., проф.
Киричек А.В. д.т.н., проф.
Колчунов В.И. д.т.н., проф.
Константинов И.С. д.т.н., проф.
Новиков А.Н. д.т.н., проф.
Попова Л.В. д.э.н., проф.
Степанов Ю.С. д.т.н., проф.

Главный редактор:

Колчунов В.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Заместители главного редактора:

Данилевич Д.В. к.т.н., доц.
Колесникова Т.Н. д. арх., проф.
Коробко В.И. д.т.н., проф.

Редколлегия:

Бок Т. д.т.н., проф. (Германия)
Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Гордон В.А. д.т.н., проф.
Емельянов С.Г. советник РААСН, д.т.н., проф.
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Клюева Н.В. советник РААСН, д.т.н., проф.
Коробко А.В. д.т.н., проф.
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Сергейчук О.В. д.т.н., проф. (Украина)
Серпик И.Н. д.т.н., проф.
Сикора З. д.т.н., проф. (Польша)
Тамразян А.Г. д.т.н., проф.
Тур В.В. д.т.н., проф. (Белоруссия)
Турков А.В. д.т.н., проф.
Федоров В.С. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Шах Р. д.т.н., проф. (Германия)

Ответственный за выпуск:

Солопов С.В. к.т.н.

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел,
ул. Московская, 77
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство:
ПИ № ФС77-47354 от 03 ноября 2011 г.

Подписной индекс 86294 по объединенному
каталогу «Пресса России»

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2014

Содержание

Теория инженерных сооружений.

Строительные конструкции

- Алферов И.В.** Совместная модель пролетного строения, подвижного состава и массивной опоры для анализа динамических опорных реакций.. 3
- Золина Т.В.** Реализация комплексного подхода к исследованию при выборе расчетной схемы промышленного здания..... 8
- Орлович Р.Б., Зимин С.С., Рубцов Н.М.** О расположении вертикальных деформационных швов в каменной облицовке наружных стен каркасно-монолитных зданий..... 15
- Прокуров М.Ю.** Программа определения максимального прогиба упругих пластинок с использованием метода интерполяции по коэффициенту формы..... 21
- Шмелев Г.Д.** Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу..... 31

Строительные материалы

и технологии

- Аверкеев И.А., Орлов В.А.** Фактор прочности при применении полимерного рукава для защиты напорного трубопровода..... 40
- Плотников В.В.** Повышение долговечности железобетонных конструкций путем модифицирования цементного бетона активированными кристаллогидратами на основе нефелинового шлама..... 46
- Соломенцев А.Б., Куликова А.В., Бухтияров С.В.** Сравнительная оценка некоторых свойств дорожного битума с различными полимерными добавками и асфальто вяжущего на его основе..... 54
- Строев Д.А., Горелов С.В., Сизонец С.В.** Изучение свойств органо-минеральных смесей дисперсно-армированных добавками базальтовых волокон..... 64
- Черных Д.С., Задорожний Д.В.** Использование асфальтогранулята в составе горячих плотных асфальтобетонных смесей типа А..... 71

Журнал «Строительство и реконструкция» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук.



Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.

№3 (53) 2014
(May-June)

BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – federal state budgetary educational institution of the higher vocational training
«State University – Educational-Science-Production Complex»
(State University ESPC)

Editorial council:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president

Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president

Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Assistant Prof.

Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.

Ivanova T.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kirichuk A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Popova L.V. Doc. Ec. Tech., Prof.

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief assistants:

Danilevich D.V. Candidat Sc. Tech., Assis-
tant Prof.

Kolesnikova T.N. Doc. Arc., Prof.

Korobko V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial committee

Bock T. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)

Bondarenko V.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof.

Karpenko N.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kljueva N.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Korobko A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Korol E.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Rimshin V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Sergeyuchuk O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)

Serpik I.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Sikora Z. Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)

Tamrazyan A.G. Doc. Sc. Tech., Prof.

Tur V.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)

Turkov A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Fyodorov V.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Chernyshov E.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Schach R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)

Responsible for edition:

Solopov S.V. Candidat Sc. Tech

The edition address: 302006, Orel,
Street Moscow, 77
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: oantc@ostu.ru

Journal is registered in Russian federal service
for monitoring communications, information
technology and mass communications
The certificate of registration:
ПИ № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»
86294

© State University ESPC, 2014

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

- I. Alferov.** Cooperative model span structure, rolling stock and massive bridge support for analysis of dynamic support reactions..... 3
- T. Zolina.** Realization of an integrated approach to analytical scheme of an industrial building..... 8
- R. Orlovich, S. Zimin, N. Rubtsov.** Location vertical extension joints in stone facing of external multi-layer walls of frame-monolithic multi-storey building.... 15
- M. Prokurov.** Program of definition maximum deflection of bent elastic plates with using the interpolation technique by shape factor..... 21
- G. Shmelev.** Expert method of predicting the residual life building structures of their physical deterioration..... 31

Construction materials and technologies

- I. Averkeev, V. Orlov.** Durability factor in applying polymeric hose for protection pressure pipeline..... 40
- V. Plotnikov.** Increase durability of ferroconcrete constructions by modification of cement concrete with activated crystallohydrates on the basis of nepheline sludge..... 46
- A. Solomentsev, A. Kulikova, S. Bukhtiyarov.** Comparative assessment of some properties of road bitumen with different polymer additives and bonding agents base on the bitumen..... 54
- D. Stroeve, S. Gorelov, S. Sizonets.** Study of the properties of mixtures of organic-particulate-reinforced additives basalt fibers..... 64
- D. Chernykh, D. Zadorozhniy.** Asphalt granules as a part of the hot dense asphalt concrete mixtures of type A..... 71

**СОВМЕСТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ,
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И МАССИВНОЙ ОПОРЫ
ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ОПОРНЫХ РЕАКЦИЙ**

В статье приводятся результаты решения динамической задачи для системы: пролетное строение, подвижная нагрузка, опора. Задача решается с целью определения величины горизонтальной составляющей опорной реакции при стандартном закреплении пролетного строения шарнирно-подвижной и шарнирно-неподвижной опорами. Расчетная схема является плоской-пространственной, содержащей только стержни, работающие на растяжение-сжатие. Для моделирования опоры была использована обобщенная модель А.Р. Ржаницына.

Ключевые слова: *горизонтальная составляющая опорной реакции, численное решение, пролетное строение, мостовая опора, вынужденные колебания, динамические усилия.*

Ранее нами было исследовано появление горизонтальной составляющей опорной реакции в балочных, плитно-балочных и ферменных системах, совершающих свободные колебания и вынужденные колебания при действии подвижной нагрузки [1-6]. В данной работе исследуется динамическая модель – пролетное строение, подвижной состав, массивная опора.

Расчетная схема является плоской-пространственной, содержащей только стержни, работающие на растяжение-сжатие. Пролетное строение и подвижной состав – плоские элементы расчетной схемы, опора – трехмерный массив (рис. 1).

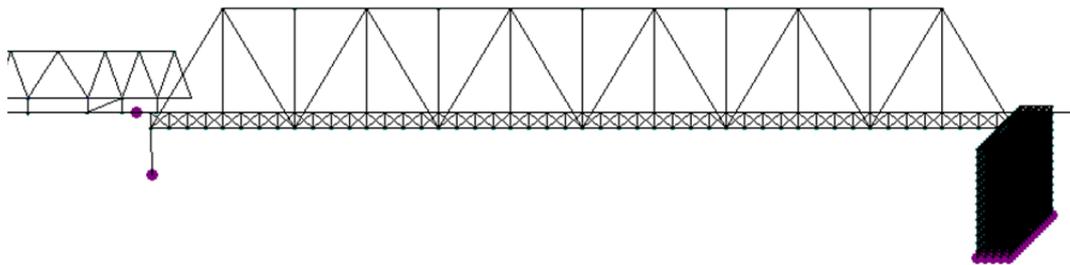


Рисунок 1 – Расчетная схема (аксонометрия)

Пролетное строение представляет собой ферму железнодорожного моста пролетом 55 м с треугольной решеткой. Продольные балки двутаврового поперечного сечения моделируются стержневой фермой, имеющей высоту равную высоте продольной балки. Для моделирования изгибной деформации поперечных балок вводятся специальные стержни, которые соединяют продольную балку с узлами основной фермы. Жесткость этих стержней подбиралась с таким условием, чтобы смоделировать изгиб поперечных балок как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

Подвижной состав был представлен локомотивом с давлением на одну ось 23 тонны и одним нагруженным вагоном. Суммарная масса подвижной нагрузки составляет 238 т. Считается, что в момент начала решения ферма находится в равновесии под действием собственного веса. Подвижной состав движется по инерции, с заданной начальной скоростью.

Как пролетное строение, так и движущийся состав представляют собой деформируемые упругие системы. Все массы сосредоточены в узлах расчетной схемы. Силы взаимодействия между подвижным составом и пролетным строением получаются в результате решения кон-

тактной задачи. Динамическая задача решалась с использованием явной схемы интегрирования уравнений движения по Адамсу. Для расчета использована компьютерная программа, разработанная на кафедре «Строительная механика» МИИТа [7].

Для моделирования опоры была использована обобщенная модель А.Р. Ржаницына. В соответствии с работой [8] из стержней собирается пространственная стержневая структура, которая при большом количестве элементов соответствует упругой среде. Элементом в такой структуре является кубическая пространственная ферма со стержнями двух типов: раскос и пояс (рис. 2).

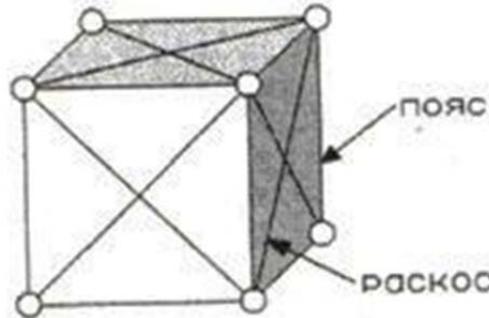


Рисунок 2 – Элемент расчетной схемы

Для того чтобы рассматриваемая структура обладала бы теми же упругими свойствами, что и сплошное упругое тело, необходимо при известном модуле упругости подобрать площадь раскоса и пояса. Из условия, что при одинаковых деформациях возникают одинаковые узловые реакции, получаются следующие выражения для площадей поперечного сечения раскоса F_p и пояса F_n :

$$\frac{F_p}{a} = \frac{F_n}{a},$$

где a – длина стороны куба.

В нашем расчете: $F_p = 0,071 \text{ м}^2$, $F_n = 0,025 \text{ м}^2$.

Когда из кубиков складывается заданная конструкция, совпадающие элементы объединяются путем суммирования их площадей. Таким образом, если следует смоделировать параллелепипед, то на ребрах будут одинарные по площади пояса, на сторонах двойные, внутри массива с учетверенной площадью. Также складываются и массы на вершинах куба. Масса, которую несет каждая вершина куба, равна $1/8$ полной массы элемента. Таким образом, в вершинах параллелепипеда будем иметь одинарные массы, на ребрах двойные, на сторонах учетверенные, а в глубине массива будут складываться восемь масс (рис. 3).

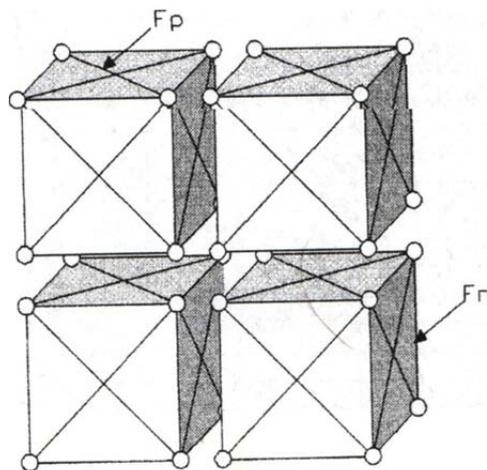


Рисунок 3 – Моделирование опоры из кубиков

Материал опоры по своим упругим и массовым характеристикам приближен к бетону ($E=35000$ МПа, $\mu=0,2$, $\rho_m=2,5$ г/см³). Высота опоры равна 7 м, ширина – 2 м, длина – 8 м.

Расчет проводился в 2-х вариантах. Вначале горизонтальная связь пролетного строения была соединена с узлом, который жестко закреплялся. При другом варианте расчета горизонтальная связь пролетного строения соединялась с узлом опоры, что соответствовало их совместной работе (рис. 4).

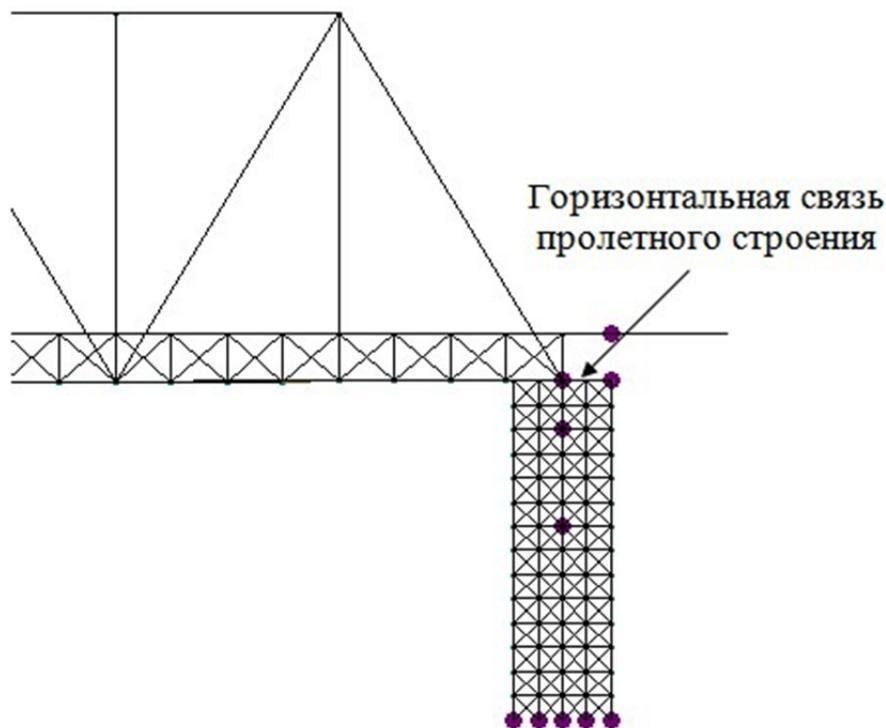


Рисунок 4 – Горизонтальная связь пролетного строения

В таблице 1 представлены результаты расчета на подвижную нагрузку. Приведены максимальные значения горизонтальной опорной реакции за время прохождения подвижного состава по пролетному строению. Скорость поезда принималась равной 50, 100, 150 км/ч.

Таблица 1

Способ крепления горизонтальной связи	Жесткое крепление	Опираение на массивную упругую опору
50 км/ч		
Горизонтальная реакция, кН	215,4	127,6
100 км/ч		
Горизонтальная реакция, кН	425,0	294,7
150 км/ч		
Горизонтальная реакция, кН	583,8	502,8

На рисунке 5 показаны графики изменения горизонтальной опорной реакции от времени при скорости движения поезда 100 км/ч. Время расчета 4 сек. Графики показаны для двух вариантов крепления горизонтальной связи.



Рисунок 5 – Графики изменения горизонтальной опорной реакции от времени при скорости движения поезда 100 км/м и массе подвижного состава 238 т. Время расчета 4 сек. Верхний график – жесткое крепление горизонтальной связи, нижний график – опирание горизонтальной связи на массивную упругую опору

Полученные результаты численного решения показали, что при совместной работе пролетного строения с опорой несколько изменяются динамические усилия в пролетном строении, в частности, максимум горизонтальной опорной реакции снизился на 30%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алферов, И.В. Динамические опорные реакции в балочных системах при свободных колебаниях [Текст] / И.В. Алферов // Труды научно-практической конференции «Наука МИИТа – транспорту». – М.: МИИТ, 2012. – II-3 с.
2. Зылев, В.Б. Динамические опорные реакции в уточненных балочных схемах [Текст] / В.Б. Зылев, И.В. Алферов // Труды V международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2012». – М.: Российский университет дружбы народов, 2012. – С. 105-109.
3. Зылев, В.Б. Динамические опорные реакции при свободных колебаниях плитно-балочных и ферменных систем [Текст] / В.Б. Зылев, И.В. Алферов // Сборник трудов «Инженерные сооружения на транспорте». Выпуск 4. – М.: МИИТ, 2012. – С. 69-71.
4. Зылев, В.Б. Динамические опорные реакции в плитно-балочных системах, совершающих свободные колебания, при совместной работе пролетного строения и опор [Текст] / В.Б. Зылев, И.В. Алферов // Труды VI международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2013». – М.: Российский университет дружбы народов, 2013. – С. 21-24.
5. Зылев, В.Б. Динамические опорные реакции в мостовой ферме при движении подвижной нагрузки [Текст] / В.Б. Зылев, И.В. Алферов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура. Выпуск 31 (50), Ч. 2. Строительные науки. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. – С. 333-336.
6. Зылев, В.Б. Динамические опорные реакции в мостовой ферме при воздействии землетрясения [Текст] / В.Б. Зылев, И.В. Алферов // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве» 19-20 декабря 2013 г. Том 1. – Алмата: КазГАСА, 2013. – С. 63-68.
7. Зылев, В.Б. Вычислительные методы в нелинейной механике конструкций [Текст] / В.Б. Зылев. – М.: НИЦ «Инженер», 1999. – 144 с.
8. Зылева, Н.В. Обобщенная модель А.Р. Ржаницына для решения динамических задач [Текст] / Н.В. Зылева // Труды международной научно-технической конференции «Вычислительная механика деформируемого твердого тела». Том 1. – М.: МИИТ, 2006. – С. 189-191.

Алферов Иван Валерьевич

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения», г. Москва

Аспирант

E-mail: ialferov@bk.ru

I. ALFEROV

COOPERATIVE MODEL SPAN STRUCTURE, ROLLING STOCK AND MASSIVE BRIDGE SUPPORT FOR ANALYSIS OF DYNAMIC SUPPORT REACTIONS

The article presents the results of solution a dynamic system for the system: span structure, moving load, bridge supports. The task is solved to determine the horizontal component of support reaction at standard fixing the span hinge-mobile and fixed-hinged supports. Design scheme is flat and spatial, containing only rods working on tension-compression. Support for modeling was used generalized model A.R. Rzhantsina.

Keywords: *horizontal component of support reaction, numerical solution, span structure, bridge support, forced vibrations, dynamic forces.*

BIBLIOGRAPHY

1. Alferov, I.V. Dinamicheskie opornye reakcii v balochnyh sistemah pri svobodnyh kolebanijah [Tekst] / I.V. Alferov // Trudy nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauka MIITa – transportu». – M.: MIIT, 2012. – II-3 s.
2. Zylev, V.B. Dinamicheskie opornye reakcii v utochnennyh balochnyh shemah [Tekst] / V.B. Zylev, I.V. Alferov // Trudy V mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Inzhenernye sistemy – 2012». – M.: Rossijskij universitet družby narodov, 2012. – S. 105-109.
3. Zylev, V.B. Dinamicheskie opornye reakcii pri svobodnyh kolebanijah plitno-balochnyh i fermennyh sistem [Tekst] / V.B. Zylev, I.V. Alferov // Sbornik trudov «Inzhenernye sooruzhenija na transporte». Vypusk 4. – M.: MIIT, 2012. – S. 69-71.
4. Zylev, V.B. Dinamicheskie opornye reakcii v plitno-balochnyh sistemah, sovershajushhih svobodnye kolebanija, pri sovmestnoj rabote proletnogo stroenija i opor [Tekst] / V.B. Zylev, I.V. Alferov // Trudy VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Inzhenernye sistemy – 2013». – M.: Rossijskij universitet družby narodov, 2013. – S. 21-24.
5. Zylev, V.B. Dinamicheskie opornye reakcii v mostovoj ferme pri dvizhenii podvizhnoj nagruzki [Tekst] / V.B. Zylev, I.V. Alferov // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universitete. Serija: stroitel'stvo i arhitektura. Vypusk 31 (50), Ch. 2. Stroitel'nye nauki. – Volgograd: VolgGASU, 2013. – S. 333-336.
6. Zylev, V.B. Dinamicheskie opornye reakcii v mostovoj ferme pri vozdejstvii zemletrjasenija [Tekst] / V.B. Zylev, I.V. Alferov // Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye problemy i perspektivy razvitija stroitel'nyh konstrukcij: innovacii, modernizacija i jenergojeffektivnost' v stroitel'stve» 19-20 dekabnja 2013 g. Tom 1. – Almata: KazGASA, 2013. – S. 63-68.
7. Zylev, V.B. Vychislitel'nye metody v nelinejnoj mehanike konstrukcij [Tekst] / V.B. Zylev. – M.: NIC «Inzhenery», 1999. – 144 s.
8. Zyleva, N.V. Obobshhennaja model' A.R. Rzhantsina dlja reshenija dinamicheskikh zadach [Tekst] / N.V. Zyleva // Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Vychislitel'naja mehanika deformiruемого tverdogo tela». Tom 1. – M.: MIIT, 2006. – S. 189-191.

I. Alferov

Moscow state university of railway engineering, Moscow

Post-graduate student

E-mail: ialferov@bk.ru

ЗОЛИНА Т.В.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРИ ВЫБОРЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

Рассмотрена вариативность реализации комплексного подхода к оценке надёжности работы конструкций каркаса при одновременном воздействии на производственный объект целого ряда нагрузок, в том числе и носящих случайный характер. Обоснование выбора пространственной расчетной схемы одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовыми кранами, определяется необходимостью наиболее полно отразить напряженно-деформированное состояние несущих конструктивных элементов.

Ключевые слова: комплексный подход, расчетная схема, промышленное здание, мостовой кран, матрица жесткости, напряженно-деформированное состояние, вероятностный расчет.

Обеспечение требуемой надежности прочностных характеристик каркаса промышленного здания, в особенности оборудованного мостовыми кранами, является одной из актуальнейших проблем при проектировании, строительстве и эксплуатации объекта производственного назначения. Наиболее яркие очертания данная проблема приобретает в случае переоборудования, предполагающего замену кранового технологического оборудования с увеличением его грузоподъемности [1]. Опыт показывает, что часть эксплуатационного ресурса таких зданий уже выработана. Несущие оборудование колонны и подкрановые балки претерпели значительные деформации, что повлекло снижение жесткостных свойств материалов. В то же время, величина нагрузочного фактора за счет использования более тяжелого оборудования усиливается. В сложившейся ситуации требуется проведение нового расчета при изменившихся начальных условиях.

Несмотря на значительные усилия ученых в области совершенствования методов диагностики работоспособности конструктивных элементов каркаса промышленного здания [2] открытым остается вопрос формирования единого комплексного подхода к проведению исследования.

Автором статьи предложена схема (рис. 1), отражающая последовательность действий исполнителя, начиная с организации сбора данных по объекту обследования до установления сроков достижения предельных состояний в работе его конструктивных элементов. Алгоритм обработки полученной информации построен на оценке резерва прочности конструкций каркаса здания, определяемым разностью между их несущей способностью и наибольшим значением обобщенной нагрузки [3].

Целью исследования, реализующего комплексный подход при проведении экспертизы, выступает увеличение срока службы зданий посредством проведения ремонтно-восстановительных работ на объектах строительного комплекса в расчетные периоды их эксплуатации. Задача по определению периода времени безотказной работы конструкций здания находит свое решение в вероятностной постановке, как наиболее соответствующей случайной природе прочностных свойств материалов. Случайный характер также присущ направленности возмущающих воздействий и продолжительности их интенсивной фазы.

Элементом любого исследования вне зависимости от выбора расчетной схемы является входная информация. В случае анализа напряженно-деформированного состояния промышленного здания в качестве таковой выступает набор данных о значениях геометрических, жесткостных и нагрузочных параметров объекта. Выбор конкретной расчетной схемы определяет модель реального объекта, а, следовательно, размерность матриц жесткости и инерционных характеристик.

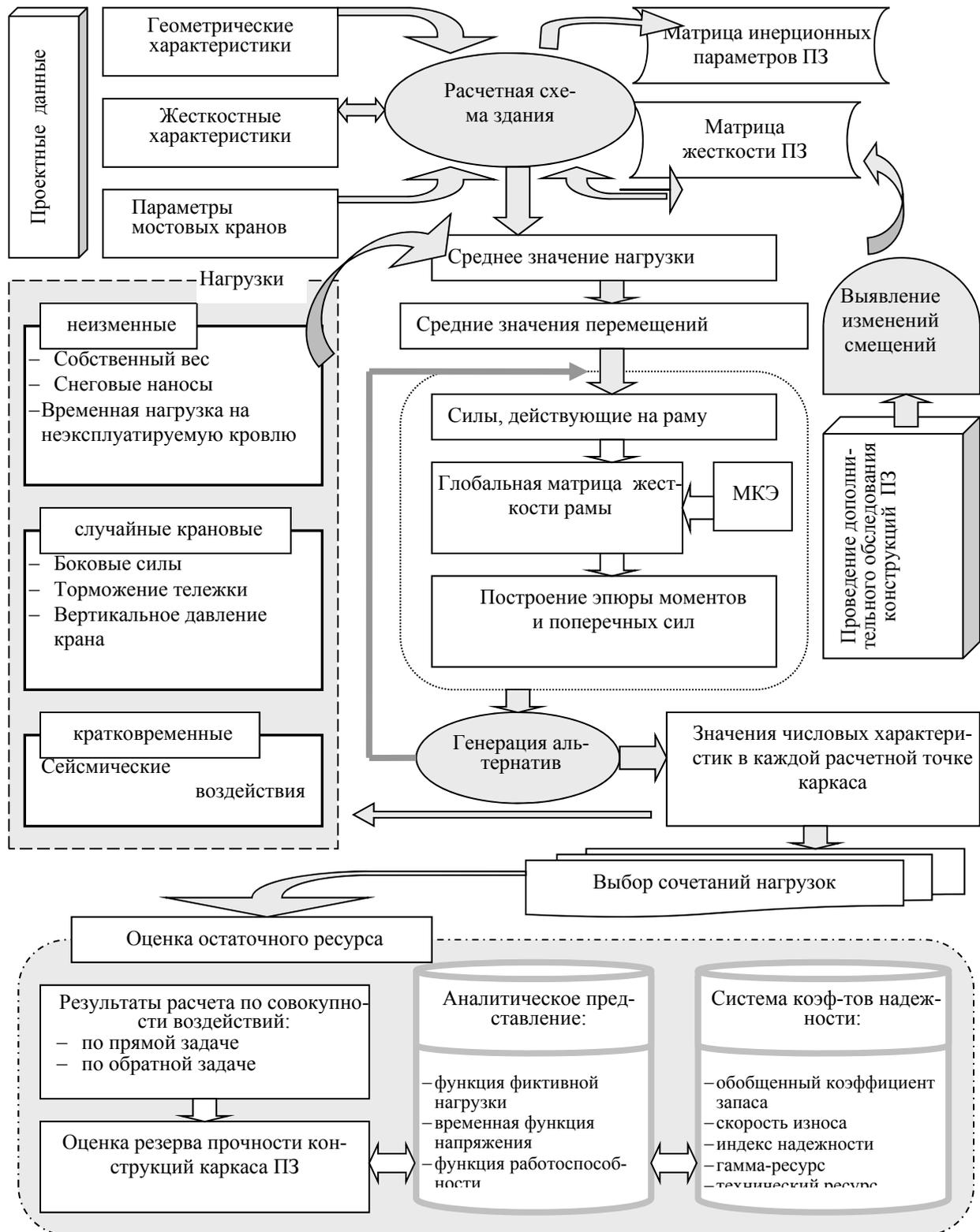


Рисунок 1 – Схема комплексного подхода к исследованию напряженно-деформированного состояния промышленного здания

Для оценки остаточного ресурса промышленного здания организуется поиск изменений амплитудных значений смещений в расчетных точках построенной модели здания. Данные изменения определяются по итогам сравнительного анализа натуральных измерений соответствующих параметров в двух и более контрольных точках временного диапазона эксплуатации данного объекта. Построив функцию фиктивной нагрузки в виде регрессионной зависи-

мости по фактору времени, а, также принимая во внимание расчетные значения математических ожиданий резерва прочности по результатам проведенных обследований, определяется среднегодовая скорость износа. Согласно представленному комплексному подходу, данная система показателей и является основанием для реализации алгоритма определения остаточного срока службы промышленного здания.

Теоретические и натурные исследования легли в основу предложенных автором пространственных расчетных схем, предоставляющих возможность учета всех важнейших факторов [4]. Данные факторы играют существенную роль при расчете каркасов на неизменные, случайные крановые и кратковременные сейсмические воздействия, что позволяет достаточно корректно учесть долю каждого из них в величине обобщенной нагрузки. Значительный вес в данной величине приходится на воздействия, оказываемые на каркас здания со стороны мостовых кранов. Сосредоточенные силы от давления одного колеса могут достигать нескольких сотен тонн. Краны передают на конструкции промышленного объекта вертикальные (F), горизонтальные продольные (P) и поперечные (T) нагрузки (рис. 2).

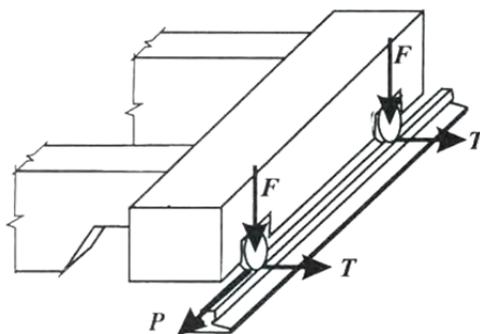


Рисунок 2 – Составляющие крановой нагрузки

При выборе пространственной расчетной схемы каркаса следует учитывать такие факторы, как:

- представление мостового крана в виде распорки;
- влияние продольных вертикальных связей на крутильную жесткость здания;
- податливость диска покрытия в своей плоскости, если она присутствует;
- неразрезность тормозных конструкций.

Общий вид пространственной расчётной схемы одноэтажного многопролетного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, представлен на рисунке 3. За расчётные точки приняты узлы пересечения рам и продольной оси покрытия, колонн и тормозных конструкций. Сочетание простоты предлагаемой схемы с высокой точностью получаемых результатов может быть достигнуто при выборе оптимального числа степеней свободы. В общем случае каждая расчётная точка системы «балка-колонна» получает одну степень свободы – горизонтальное смещение в плоскости поперечной рамы, а каждая расчётная точка на покрытии, две степени – горизонтальное смещение в этой же плоскости (Π) и угол поворота в плоскости покрытия (φ).

Представленная расчетная схема характерна в основном для покрытия, выполненного с применением профилированного настила, уложенного на систему стальных прогонов. Принятие конструктивных решений выбора податливых в своей плоскости покрытий требуется и в ситуациях некачественного замоноличивания швов в сборном железобетонном покрытии с поперечной укладкой плит.

В случаях сборного железобетонного покрытия с продольной укладкой плит либо при качественном замоноличивании швов при поперечной укладке покрытие в расчетах следует рассматривать в виде жесткого диска, а соответствующие деформации в его плоскости не учитывать. Массы в уровне покрытия соответствующей расчетной схеме (рис. 4) следует сосредоточить в центре масс диска, косвенно упрощив тем самым вид глобальной матрицы жесткости.

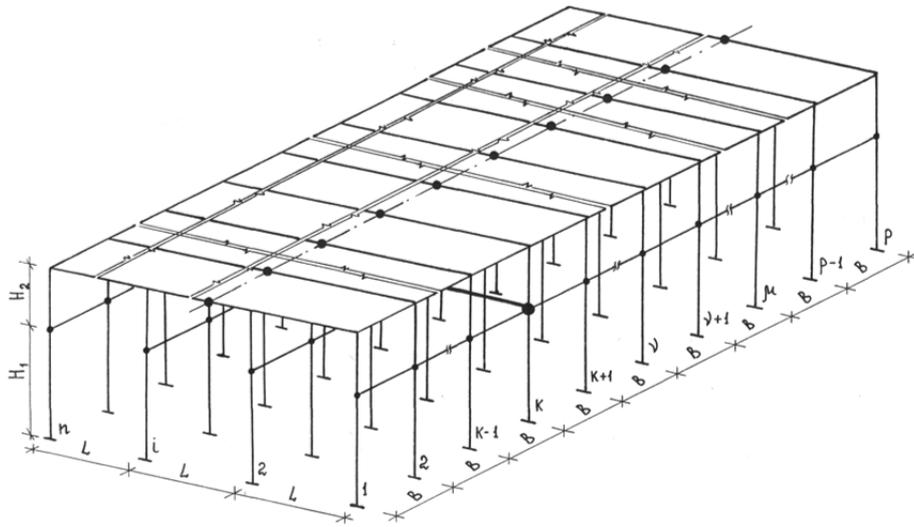


Рисунок 3 – Расчетная схема одноэтажного промышленного здания с податливым в своей плоскости покрытием

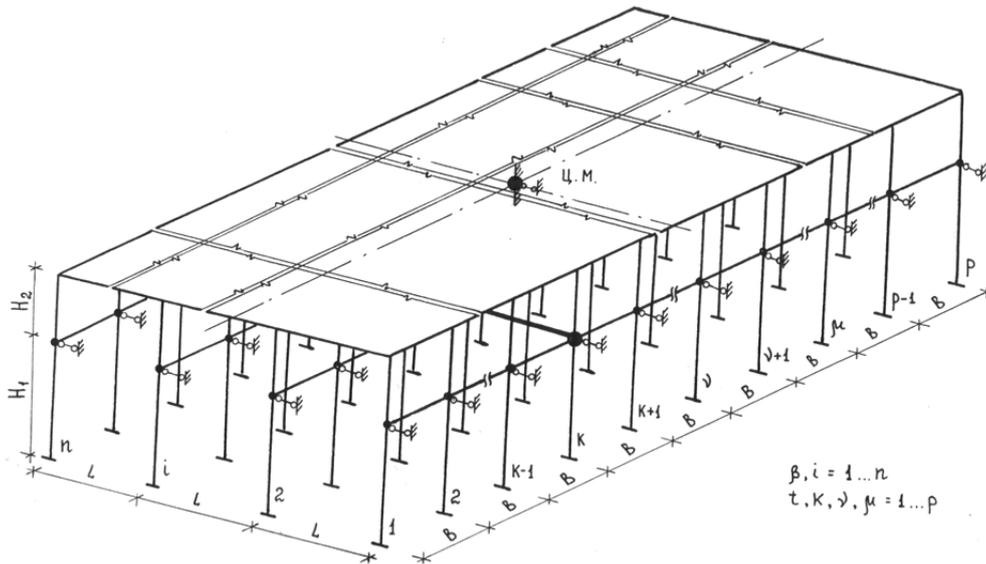


Рисунок 4 – Расчетная схема одноэтажного промышленного здания с жестким в своей плоскости покрытием

Структура заполнения глобальной матрицы жесткости элементами r_{ij} для рассмотренных вариантов построения модели промышленного здания с неразрезными тормозными конструкциями имеет вид:

– для варианта с податливым в своей плоскости покрытием

$$C = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & 0 & 0 & r_{1\varphi} & r_{1\Pi} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & 0 & r_{2\varphi} & r_{2\Pi} \\ 0 & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{3\varphi} & r_{3\Pi} \\ 0 & 0 & r_{43} & r_{44} & r_{4\varphi} & r_{4\Pi} \\ \hline r_{\varphi 1} & r_{\varphi 2} & r_{\varphi 3} & r_{\varphi 4} & r_{\varphi\varphi} & r_{\varphi\Pi} \\ r_{\Pi 1} & r_{\Pi 2} & r_{\Pi 3} & r_{\Pi 4} & r_{\Pi\varphi} & r_{\Pi\Pi} \end{pmatrix},$$

– для варианта с жестким в своей плоскости покрытием

$$C = \begin{pmatrix} r_{11} & 0 & 0 & 0 & r_{1\varphi} & r_{1\Pi} \\ 0 & r_{22} & 0 & 0 & r_{2\varphi} & r_{2\Pi} \\ 0 & 0 & r_{33} & 0 & r_{3\varphi} & r_{3\Pi} \\ 0 & 0 & 0 & r_{44} & r_{4\varphi} & r_{4\Pi} \\ \hline r_{\varphi 1} & r_{\varphi 2} & r_{\varphi 3} & r_{\varphi 4} & r_{\varphi\varphi} & r_{\varphi\Pi} \\ r_{\Pi 1} & r_{\Pi 2} & r_{\Pi 3} & r_{\Pi 4} & r_{\Pi\varphi} & r_{\Pi\Pi} \end{pmatrix}.$$

Определив числовые значения элементов глобальной матрицы жесткости каркаса для конкретного эксплуатируемого объекта при обследованиях, выстроенных в хронологическом порядке, становится возможной реализация комплекса моделей расчета, заложенная в концептуальной схеме исследования.

В качестве примера, представляющего интерес с точки зрения исследовательской работы, проводимой автором, рассмотрим реализацию комплексного подхода применительно к расчету двухпролётных одноэтажных промышленных зданий. Такие здания, оборудованные двумя и более мостовыми кранами большой грузоподъемности, широко используются при организации технологического процесса машиностроительных, судоремонтных, металлургических и горно-обогатительных заводов.

Пространственная расчетная схема подобного здания (рис. 5) имеет свои особенности, которые достаточно подробно описаны в работе [5].

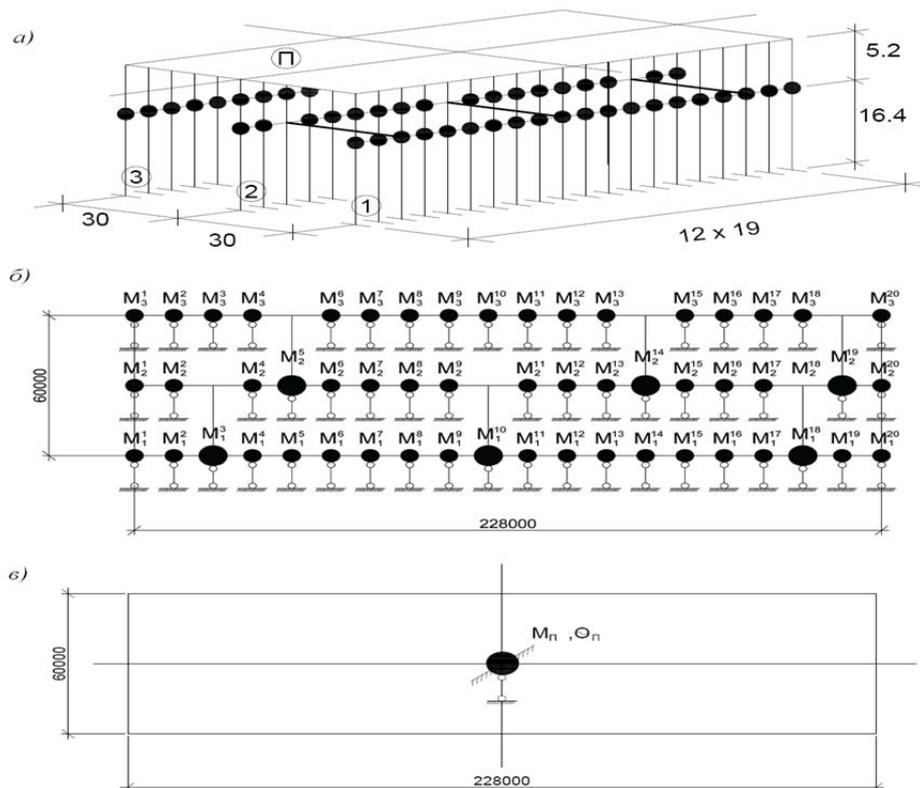


Рисунок 5 – Расчетная схема одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном: а – аксонометрия расчётной схемы; б – расчетные точки в уровне подкрановых балок; в – расчетная точка на покрытии

В ходе вероятностного расчёта действия на каркас данного здания вертикальной и поперечной горизонтальной сил, вызванных работой мостового крана, определены значения числовых характеристик изгибающих моментов и нормальных напряжений. Графическая интерпретация результатов исследования по отдельным составляющим крановой нагрузки в нагруженной раме представлена в виде соответствующих эпюр (рис. 6).

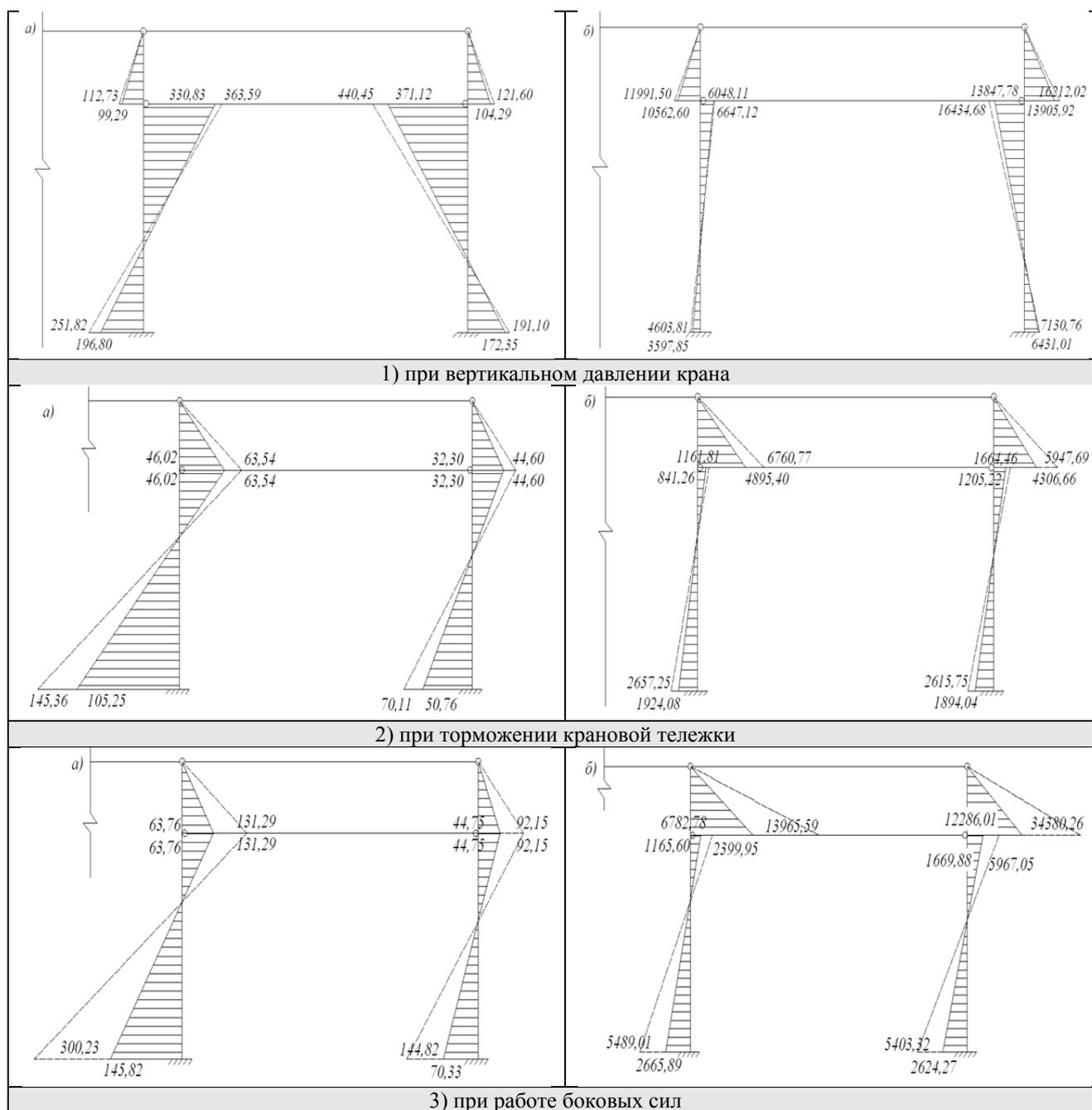


Рисунок 6 – Эпюры: а – изгибающих моментов; б – нормальных напряжений (пунктиром показаны эпюры с учётом увеличения на три стандарта)

Демонстрация результатов расчета доказывает необходимость учета при формировании сочетаний одновременного действия нагрузок всех рассмотренных составляющих крановой нагрузки. Каждая из них вносит свой значительный вклад в величину обобщенной нагрузки.

Сняв экспериментальным путем показания о смещениях каркаса в отдельных узловых точках расчетной схемы в нескольких интервалах времени, появляется возможность отследить динамику изменений жесткостных характеристик промышленного здания [6]. Прикладывая обобщенную нагрузку, выраженную сочетанием нескольких возмущающих факторов, в том числе и внешних [7], к каркасу здания, определяется максимум смещений в расчетных точках.

Использование данного подхода позволяет не только выполнить целый ряд расчетов по воздействию на объект различных сочетаний нагрузок, проследить динамику изменений в работе конструкций каркаса, но и оценить величину остаточного ресурса по истечении определенного срока эксплуатации здания, и как следствие, спрогнозировать с высокой точностью сроки проведения необходимых технических ремонтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золина, Т.В. Способы экономии ресурсов при реконструкции промышленных зданий [Текст] / Т.В. Золина // Изв. Академии ЖКХ. Городское хозяйство и экология. – 2006. – №1. – С. 54-56.
2. Тамразян, А.Г. Оценка риска и надежности конструкций и ключевых элементов – необходимое условие безопасности зданий и сооружений [Текст] / А.Г. Тамразян // Вестник ЦНИИСК. – 2009. – №1. – С. 160-171.
3. Золина, Т.В. Концептуальная схема исследования напряженно-деформированного состояния промышленного здания [Текст] / Т.В. Золина, П.Н. Садчиков // Вестник ВолгГАСУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2013. – №33(52). – С. 47-51.
4. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения [Текст] / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин: под общей ред. А.В. Перельмутера. – М.: АСВ, 2007. – 482 с.
5. Золина, Т.В. Расчет одноэтажных промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами, на горизонтальное крановое воздействие с учетом пространственной работы // Канд. диссертация. – М.: МИСИ, 1989. – 242 с.
6. Золина, Т.В. Моделирование работы конструкций промышленного здания с учетом изменения жесткости в процессе эксплуатации [Текст] / Т.В. Золина, П.Н. Садчиков. – М.: Вестник МГСУ. – 2012. – №10. – С. 69-76.
7. Надежность зданий как пространственных составных систем при сейсмических воздействиях [Текст] / В.А. Пшеничкина, А.С. Белоусов, А.Н. Кулешова, А.А. Чураков: под ред. Пшеничкиной В.А. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2010. – 180 с.

Золина Татьяна Владимировна

Астраханский инженерно-строительный институт, г. Астрахань
Кандидат технических наук, профессор, первый проректор
E-mail: zolintv@yandex.ru

T. ZOLINA

REALIZATION OF AN INTEGRATED APPROACH TO ANALYTICAL SCHEME OF AN INDUSTRIAL BUILDING

We consider the variability of realization complex approach to assess the reliability of the frame structures with simultaneous exposure to a variety of facility loads, including random nature. The choice is substantiated on the spatial calculation scheme of a single-story industrial building equipped with overhead cranes, determined by the necessity to reflect the stress-strain state of the supporting constructive elements most completely.

Keywords: *complex approach, calculation scheme, industrial building, bridge crane, stiffness matrix, stress-strain state, a probabilistic calculation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Zolina, T.V. Sposoby jekonomii resursov pri rekonstrukcii promyshlennyh zdaniy [Tekst] / T.V. Zolina // Izv. Akademii ZhKH. Gorodskoe hozjajstvo i jekologija. – 2006. – №1. – S. 54-56.
2. Tamrazjan, A.G. Ocenka riska i nadezhnosti konstrukcij i kljuchevyh jelementov – neobhodimoe uslovie bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij [Tekst] / A.G. Tamrazjan // Vestnik CNIISK. – 2009. – №1. – S. 160-171.
3. Zolina, T.V. Konceptual'naja shema issledovaniya naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija promyshlennogo zdaniya [Tekst] / T.V. Zolina, P.N. Sadchikov // Vestnik VolgGASU. Serija «Stroitel'stvo i arhitektura». – 2013. – №33(52). – S. 47-51.
4. Nagruzki i vozdejstvija na zdaniya i sooruzhenija [Tekst] / V.N. Gordeev, A.I. Lantuh-Ljashhenko, V.A. Pashinskij, A.V. Perel'muter, S.F. Pichugin: pod obshhej red. A.V. Perel'mutera. – M.: ASV, 2007. – 482 s.
5. Zolina, T.V. Raschet odnojetazhnyh promyshlennyh zdaniy, oborudovannyh mostovymi kranami, na gorizontal'noe kranovoe vozdejstvie s uchetom prostranstvennoj raboty // Kand. dissertacija. – M.: MISI, 1989. – 242 s.
6. Zolina, T.V. Modelirovanie raboty konstrukcij promyshlennogo zdaniya s uchetom izmenenija zhestkosti v processe jekspluatcii [Tekst] / T.V. Zolina, P.N. Sadchikov. – M.: Vestnik MGSU. – 2012. – №10. – S. 69-76.
7. Nadezhnost' zdaniy kak prostranstvennyh sostavnyh sistem pri sejsmicheskikh vozdejstvijah [Tekst] / V.A. Pshenichkina, A.S. Belousov, A.N. Kuleshova, A.A. Churakov: pod red. Pshenichkinoj V.A. – Volgograd: VolgGASU, 2010. – 180 s.

T. Zolina

Astrakhan institute of civil engineering, Astrakhan
Candidate of technical sciences, professor, first vice-rector
E-mail: zolintv@yandex.ru

ОРЛОВИЧ Р.Б., ЗИМИН С.С., РУБЦОВ Н.М.

О РАСПОЛОЖЕНИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ В КАМЕННОЙ ОБЛИЦОВКЕ НАРУЖНЫХ СТЕН КАРКАСНО-МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ

Широкое применение в последнее время получили многослойные ограждающие конструкции с лицевым слоем из кирпичной кладки. Отечественная практика эксплуатации зданий с подобными стенами выявила их повышенную дефектность, одной из причин которой можно назвать недостаточную проработанность вопроса о необходимости устройства и расположения вертикальных деформационных швов. В статье проанализированы факторы, влияющие на рациональное расстояние между вертикальными деформационными швами, а также местоположение и толщину швов. Сделаны выводы о том, что существенное влияние на решение по вертикальным швам оказывает фактическое напряженное состояние кладки, которое в реальных условиях оказывается сложным.

Ключевые слова: каркасно-монолитные дома, лицевой кирпичный слой, слоистая кладка, теплотехника наружных стен, деформационные швы.

До конца XIX в. каменные здания, как правило, возводились из глиняного кирпича с применением известковых растворов. Геометрические параметры и форма несущих конструкций (фундаментов, стен, сводов), а также способ передачи нагрузок назначались исходя из постоянно накапливавшегося опыта строительства, интуитивных соображений и простейших геометрических расчетов (например, погашение распора от сводчатых конструкций). В итоге, строительство постоянно эволюционировало, как бы сейчас сказали, в сторону минимизации возникающих в кладке растягивающих напряжений. XIX-XX вв. принесли в строительную отрасль новые материалы и технологии, которые, с одной стороны, расширили возможности строительных конструкций, но с другой, более их усложнили, что повлекло за собой вопросы, которые до этого не стояли столь остро. Например, применение цементных растворов в каменных кладках увеличило их прочность, деформативность же уменьшилась в среднем в 5 раз. Это предопределило их повышенную чувствительность к трещинообразованию, что вызвало необходимость устройства деформационных швов. Строительство в России с конца 1990-х гг. по настоящее время монолитно-каркасных домов с кирпичной самонесущей облицовкой толщиной в кирпич (120 мм) еще более заострило эту проблему.

Определение рационального расстояния между деформационными швами является сложной задачей в связи с множеством факторов, основными из которых являются [1, 2, 3, 4]: климатические воздействия, толщина и вид каменной кладки, физико-механические свойства камней и раствора, жесткость перекрытий, геометрия стены с учетом оконных и дверных проемов, наличие или отсутствие армирования.

Расположение вертикальных швов не должно нарушать целостности стены. Прежде всего, они устраиваются в угловых зонах фасадов, где температурные деформации лицевого слоя достигают максимальных значений. В плоской части фасадов вертикальные швы обычно совмещают с откосами оконных и дверных проемов. Существенным является то, что швы должны пересекать всю толщину однослойной стены, включая отделку. В наружных стенах деформационные швы должны выполняться так, чтобы предотвратить попадание атмосферных осадков внутрь здания. Кроме того, швы должны обеспечить температурно-влажностные компенсации без разрушения каменной кладки. Свободные температурно-влажностные деформации кладки из керамических камней могут достигать 1 мм/м. При этом, в практике толщину деформационного шва принимают большей, добавляя в миллиметрах 30% расстояния между швами в метрах. Например, при расстоянии между деформационными швами $l_m=12$ м, толщина швов будет равна 16 мм.

В европейских нормах [5], для неармированных самонесущих стен, максимальное расстояние между вертикальными деформационными швами принимается в зависимости от материала кладки:

- керамических камней – 12 м;
- силикатных камней – 8 м;
- бетонных камней – 6 м;
- автоклавного пенобетона – 6 м;
- натуральных камней – 12 м.

Указанные замечания относятся к неармированной кладке, выполненной на цементно-песчаном растворе обычной толщины (10-12 мм). В случае армирования кладки и применения более податливых известково-цементных растворов, нормы [5] допускают возможность увеличения расстояния l_m , не уточняя при этом степень увеличения. Отдельным вопросом является назначение расстояния l_m для кладок на тонких растворных швах толщиной 0,5-3 мм. Как известно, такие кладки более чувствительны к трещинообразованию по сравнению с кладками со швами обычной толщины.

Следует отметить, что в национальных приложениях стран-пользователей евро нормами приводятся свои уточненные максимальные расстояния l_m между вертикальными деформационными швами. Например, в Англии, для неармированной кладки из керамических камней $l_m=15$ м. Согласно немецким нормам [6], в зависимости от географической широты расстояние между вертикальными деформационными швами для фасадов, расположенных с северной стороны, принимается в пределах 12-14 м, с южной – 8-9 м, с западной – 7-8 м, с восточной – 10-12 м.

Очевидно, что для российских условий расстояние l_m может существенно отличаться от вышеприведенных величин. В соответствии п. 6.78 СНиП II-22-81* «Каменные и армокаменные конструкции» в каменных зданиях расстояние между температурными швами следует устанавливать по расчету. При этом Таблица 32 СНиП II-22-81*, устанавливающая максимальные расстояния между швами, допускает использование только для основных слоев кладки как это указано в п.6.79. Основные положения по расчету наружных стен из облегченной кладки, в том числе назначение расстояний между вертикальными деформационными швами в лицевом слое кладки, можно найти в выпущенном в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко стандарте СТО 3655451-13-2008 «Методы расчета лицевого слоя из кирпичной кладки наружных облегченных стен с учетом температурно-влажностных воздействий». Этот документ главным образом базируется на исследованиях, представленных в монографии [1]. Не оспаривая его значимости и своевременности принятия с целью предотвращения массового аварийного состояния лицевого слоя [1, 7], авторы настоящей статьи считают не достаточными выполненных в стране исследований в этом направлении. В новой трактовке СНиП II-22-2011 «Каменные и армокаменные конструкции» предусмотрена разработка приложений к основному документу, требования которых будут направлены на избежание дефектов и повреждений в облицовке фасадов [8]. В связи с этим, практический интерес могут представлять методы и результаты давно выполненных обширных зарубежных исследований. Здесь показательным может являться работа [3], в которой расстояние между вертикальными деформационными швами предлагается определять из выражения (1):

$$l_m \leq -\ln \left(1 - \frac{\beta_{Z,mw}}{E_{Z,mw} * \varepsilon * R} \right) * \frac{h_{mw}}{0,23}, \quad (1)$$

где $\beta_{Z,mw}$ – прочность кладки на растяжение вдоль горизонтальных растворных швов; $E_{Z,mw}$ – модуль упругости кладки при растяжении вдоль горизонтальных растворных швов; ε – полные температурные деформации кладки с учетом ее реологии; R – коэффициент, учитывающий влияние сил трения на контакте лицевого слоя с опорой (например, при возведении кладки непосредственно на железобетонной плите перекрытия $R=1,0$, при ее возведении на скользящей прослойке из полиэтиленовой пленки или рубероида $R=0,6$); h_{mw} – высота стены.

Выражение (1) справедливо для соотношения $l_m/h_{mw} \leq 5$; при этом модуль упругости кладки рекомендуется принимать в зависимости от ее прочности на растяжение:

- $E_{Z,mw}=23000 \times \beta_{Z,mw}$ – для кладки из керамических камней;

- $E_{Z,mw}=14000 \times \beta_{Z,mw}$ – для кладки из силикатных камней.

В зарубежной практике для определения расстояния l_m между вертикальными деформационными швами, иногда пользуются диаграммой, приведенной на рисунке 1.

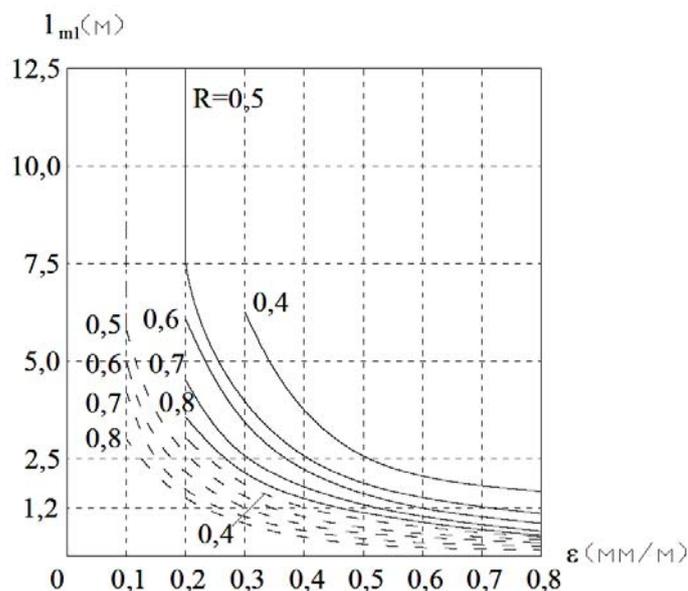


Рисунок 1 – Диаграмма для определения расстояния между вертикальными деформационными швами стены высотой 1 м (сплошная линия – для кладки из керамических камней, пунктирная – из силикатных)

Например, для стен из силикатных камней при $R=0,6$ и $\varepsilon=0,3$ мм/м величина $l_{m1}=1,2$ м. При высоте стены $h_{mw}=3,0$ м, расстояние l_m составляет $l_m=l_{m1} \times h_{mw}=1,2 \times 3,0=3,6$ м.

Следует отметить, что выражение (1) и вышеприведенная диаграмма получены расчетным путем на основе анализа напряженного состояния стены, подвергнутой температурным деформациям. Критерием прочности при этом является условие (2):

$$\sigma_x \leq \beta_{Z,mw}, \quad (2)$$

где σ_x – максимальные растягивающие напряжения в вертикальном сечении стены.

Последние, как правило, имеют место посередине смежных деформационных швов. Следует отметить, что ограничение горизонтальных деформаций кладки на участке между деформационными швами имеет место до момента исчерпания прочности на сдвиг в стыке стены с железобетонным перекрытием. Значение этой прочности в общем случае определяется из выражения (3):

$$\tau_v = \tau_{v0} + k \times \sigma_y, \quad (3)$$

где τ_{v0} – сдвиговое сцепление между кладкой и железобетонной плитой; k – коэффициент трения между кладкой и железобетонной плитой; σ_y – вертикальные сжимающие напряжения на контакте каменной кладки с железобетонной плитой.

Следует отметить, что наибольшие значения σ_y имеют место тогда, когда между лицевым слоем и верхней железобетонной плитой перекрытия отсутствует горизонтальный деформационный шов. Будучи защемленной между верхней и нижней плитами, каменная кладка испытывает стеснение вертикальных температурных деформаций, что вызывает в ней сжимающие напряжения σ_y . Последние могут быть также эффектом передачи давления на кладку со стороны прогибающейся под действием полезной нагрузки верхней плиты перекрытия.

На рисунке 2 приведены отдельные результаты выполненного авторами анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) каменной кладки, расположенной между железобетонными плитами перекрытий в программе конечно-элементного анализа. Расчеты выполнялись в предположении упругой работы материалов кладки и перекрытий и абсолютно

полного сцепления между кладкой и перекрытием. Рассмотрены два варианта работы стенового заполнения: при наличии (рис. 2, а) и отсутствии (рис. 2, б) горизонтального деформационного шва между кладкой и верхней плитой перекрытия. НДС кладки определялось при ее положительных и отрицательных температурных деформациях. При этом температурные деформации плит перекрытий не учитывались (предполагалось утепление их торцов). При отрицательных температурных деформациях напряженное состояние кладки не зависит от отсутствия или наличия горизонтального деформационного шва. При этом в соответствии с траекторией и величиной главных растягивающих напряжений σ_1 , трещины в кладке могут возникнуть в вертикальном сечении примерно посередине между вертикальными швами. Кроме того, на контакте кладки с нижней плитой перекрытия возникают касательные напряжения τ_{xy} , максимальная концентрация которых наблюдается вблизи вертикальных деформационных швов. В этом случае возможны два механизма разрушения. Первый заключается в нарушении сцепления между кладкой и плитой перекрытия при $\tau_{xy} > \tau_v$. Более опасным является второй механизм разрушения, когда касательные напряжения τ_{xy} будут превышать прочность кирпичной кладки на срез по неперевязанным горизонтальным сечениям. В этом случае может произойти сдвиг кладки в плоскости горизонтальных растворных швов либо в плоскости камней, когда последние обладают повышенной пустотностью и низкой прочностью на срез.

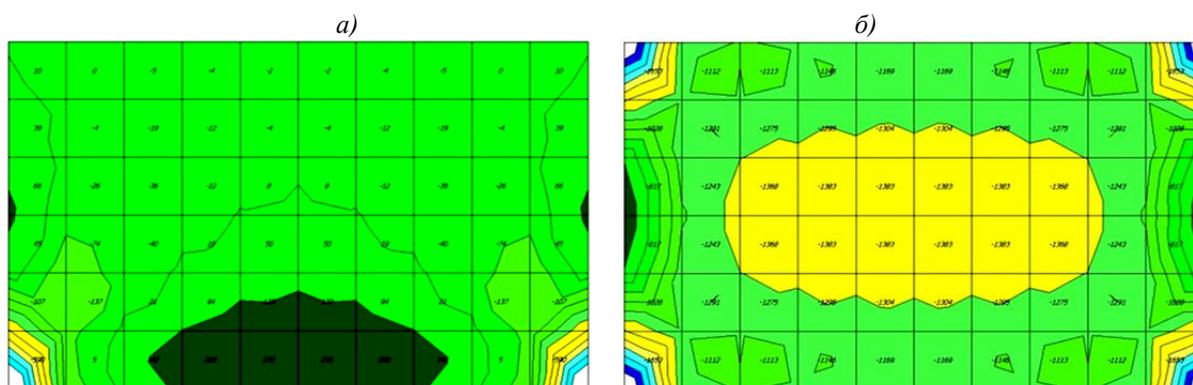


Рисунок 2 – Напряженно-деформированное состояние (σ_y , кПа) каменной кладки на участке между вертикальными деформационными швами от положительных температурных деформаций: а – кладка с устройством горизонтального деф. шва между стеной и верхней плитой перекрытия; б – кладка без устройства горизонтального деф. шва между стеной и верхней плитой перекрытия

При положительных температурных деформациях НДС кладки существенно зависит от наличия горизонтальных деформационных швов (рис. 2). При их отсутствии (рис. 2, б) кладка работает в условиях объемного сжатия, что уменьшает возможность образование трещин от растягивающих напряжений. В соответствии с зависимостью (3), благодаря появлению сжимающих напряжений σ_y возрастает сдвиговое сцепление между кладкой и плитами перекрытий. Работа кладки в таких условиях создает предпосылки для увеличения расстояния l_m между вертикальными деформационными швами. Иллюстрацией тому является графическая зависимость длины l_m от величины сжимающих напряжений σ_y , заимствованная из работы [4] (рис. 3).

Кривая получена расчетным путем для $\tau_{v0}=0,4$ МПа (зависимость (3)). Следует, однако, отметить, что наличие сжимающих напряжений σ_y неблагоприятно сказывается на работе каменного облицовочного слоя при его внецентренном опирании на торцевые участки железобетонных плит перекрытий. Кроме появления местных опорных сжимающих напряжений, облицовочный слой в этом случае работает на изгиб из своей плоскости, что уменьшает его несущую способность.

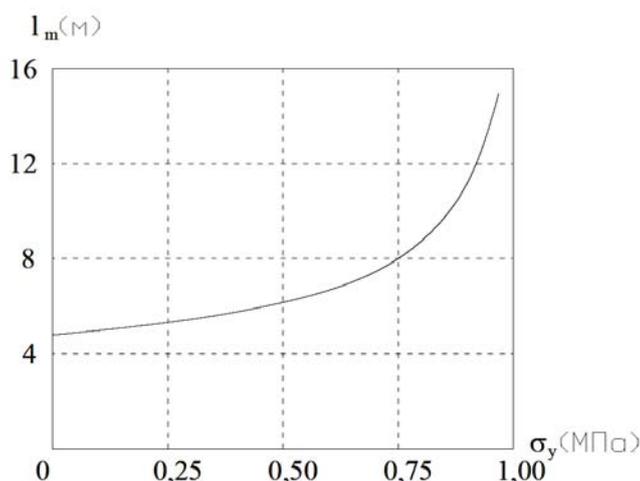


Рисунок 3 – Диаграмма для определения расстояния между вертикальными деформационными швами стены высотой 1 м

Вышеприведенный анализ показывает, что решение вопроса о расположении вертикальных деформационных швов и, соответственно, об уменьшении дефектности наружных многослойных стен, может быть решен только после обширных исследований в этом направлении, чему в нашей стране уделяется недостаточное внимание. Стоит отметить, что данные зарубежных исследований, невозможно напрямую перенести в российскую практику проектирования и строительства, прежде всего из-за разных природно-климатических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ищук, М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки [Текст] / М.К. Ищук. – М.: РИФ «Стройматериалы». – 2009, – 360 с.
2. Орлович, Р.Б. Зарубежный опыт армирования каменных конструкций [Текст] / Р.Б. Орлович, В.Н. Деркач // Жилищное строительство. – 2011. – №11.
3. Schubert P. Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerkbauteilen. Mauerwerk-Kalender. Berlin 1996 s. 621-651.
4. Bramershuber W., Schubert P., Schmidt U., Hannawald J. Rissfreie Wandlänge von Porenbeton-Mauerwerk. Mauerwerk 4/2006 s. 132-139.
5. EN 1996-2:2006 Eurocode 6: Design of masonry structures – Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry.
6. DIN 1053: 1990 Teil 1. Rezeptmauerwerk. Berechnung und Ausführung.
7. Деркач, В.Н. Вопросы качества и долговечности облицовки слоистых каменных стен [Текст] / В.Н. Деркач, Р.Б. Орлович // Magazine of civil engineering. – 2011. – №2 – С. 42-47.
8. Терехов, В.А. О нормах проектирования многослойных наружных стен из облегченной кладки в каркасных зданиях [Текст] / В.А. Терехов, В.Г. Гагарин, А.М. Горбунов, М.О. Павлова // Жилищное строительство. – 2010. – №9 – С. 10-12.

Орлович Ромуальд Болеславович

Западно-Померанский технологический университет, г. Щецин, Республика Польша
 Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции»
 E-mail: orlowicz@mail.ru

Зимин Сергей Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, г. Санкт-Петербург
 Аспирант
 E-mail: zimin_sergei@mail.ru

Рубцов Никита Михайлович

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, г. Санкт-Петербург
 Аспирант кафедры «Строительная механика и строительные конструкции»
 Тел.: +7 921 408 74 64
 E-mail: kit451@mail.ru

R. ORLOVICH, S. ZIMIN, N. RUBTSOV

LOCATION VERTICAL EXTENSION JOINTS IN STONE FACING OF EXTERNAL MULTI-LAYER WALLS OF FRAME-MONOLITHIC MULTI-STOREY BUILDING

Due to increasing regulatory requirements for heat-shielding properties of the exterior walls of wide application recently received multi-layer building envelope with facial layer of masonry. Domestic practice buildings with such walls revealed their increased deficiency, one of the reasons that can be called poor drafting of the need for the device and location of expansion joints in multi-layer outer walls. The article analyzes the factors affecting the rational the distance between the vertical expansion joints, as well as the location and thickness of joints. Conclusions that a significant influence on the decision on the vertical joints provides the actual state of stress of masonry, which in real conditions is complicated.

Keywords: frame - solid houses, face brick layer, layered masonry, thermal engineering outside walls, movement joint

BIBLIOGRAPHY

1. Ishhuk, M.K. Otechestvennyj opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz oblegchennoj kladki [Tekst] / M.K. Ishhuk. – M.: RIF «Strojmaterialy». – 2009, – 360 s.
2. Orlovich, R.B. Zarubezhnyj opyt armirovaniya kamennyh konstrukcij [Tekst] / R.B. Orlovich, V.N. Derkach // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2011. – №11.
3. Schubert P. Vermeiden von schädlichen Rissen in Mauerwerkbauteilen. Mauerwerk-Kalender. Berlin 1996 s. 621-651.
4. Bramershuber W., Schubert P., Schmidt U., Hannawald J. Rissfreie Wandlänge von Porenbeton-Mauerwerk. Mauerwerk 4/2006 s. 132-139.
5. EN 1996-2:2006 Eurocode 6: Design of masonry structures – Part 2: Design considerations, selection of materials and execution of masonry.
6. DIN 1053: 1990 Teil 1. Rezeptmauerwerk. Berechnung und Ausführung.
7. Derkach, V.N. Voprosy kachestva i dolgovechnosti oblicovki sloistyh kamennyh sten [Tekst] / V.N. Derkach, R.B. Orlovich // Magazine of civil engineering. – 2011. – №2 – S. 42-47.
8. Terehov, V.A. O normah proektirovaniya mnogoslojnyh naruzhnyh sten iz oblegchennoj kladki v karkasnyh zdaniyah [Tekst] / V.A. Terehov, V.G. Gagarin, A.M. Gorbunov, M.O. Pavlova // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2010. – №9 – S. 10-12.

R. Orlovich

West Pomeranian technological university, Szczecin, Republic Poland
Doctor of technical science, professor, head of the department «Building designs»
E-mail: orlowicz@mail.ru

S. Zimin

Saint-Petersburg state polytechnical university, Saint-Petersburg
Post graduate student
Mail: zimin_sergei@mail.ru

N. Rubcov

Saint-Petersburg state polytechnical university, Saint-Petersburg
Post graduate student of the department «Structural mechanics and units»
Ph.: +7 921 408 74 64
Mail: kit451@mail.ru

ПРОКУРОВ М.Ю.

**ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ПРОГИБА
УПРУГИХ ПЛАСТИНОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ФОРМЫ**

Приводится описание методики, общий алгоритм и примеры работы программы определения максимального прогиба упругих пластинок с характерными очертаниями односвязного контура и различными комбинациями граничных условий, нагруженных равномерно распределённой нагрузкой. Решение задачи основывается на использовании метода интерполяции по коэффициенту формы.

Ключевые слова: упругие пластинки, равномерно распределённая нагрузка, деформированное состояние, максимальные прогибы, коэффициент формы, программа.

Пластинки различной формы и граничных условий находят широкое применение в строительстве и машиностроении в качестве несущих и ограждающих элементов конструктивных систем. Разработка инженерно-технических решений, связанных с применением пластинчатых конструкций, как правило, обусловлена постановкой и реализацией обратной задачи проектирования, связанной с оценкой их деформированного состояния по величине максимально возможного прогиба, вызванного действием проектной нагрузки.

Для деформационного расчёта пластинчатых конструкций применяется ряд распространённых методов, имеющих присущие им недостатки и ограничения. Так использование прямых расчётных методов сопряжено с математическими трудностями решения дифференциальных уравнений и ограничено рядом частных решений для пластинок простейших форм очертания и условий закрепления. Применение универсальных программных комплексов, основанных на использовании МКЭ, представляется достаточно громоздким при вариантном проектировании и ориентировано исключительно на использование ЭВМ, что зачастую приводит к потере физического смысла решаемой задачи.

Имеющиеся трудности определяют перспективу развития геометрических методов расчёта, позволяющих получить оперативную оценку физических характеристик пластинок на основе свойства о двусторонней ограниченности возможных решений при геометрическом моделировании области, очерченной их внешним контуром. Реализация таких методов не требует решения дифференциальных уравнений, приводя к получению результата с точностью, достаточной для инженерных расчётов. При этом не предусматривается использованием мощных ЭВМ, а в отдельных случаях имеется возможность применения ручного счёта.

Одним из эффективных геометрических методов является метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), предложенный профессором А.В. Коробко. В качестве основного аргумента данный метод предусматривает использование безразмерной геометрической характеристики плоской односвязной выпуклой области – коэффициент формы, определяемый интегралом [1]:

$$K_f = \min \oint_L \frac{ds}{h},$$

где ds – линейный элемент контура L , h – перпендикуляр, опущенный на него из некоторой точки, расположенной внутри рассматриваемой области (рис. 1). Впервые к расчёту пластинок коэффициент формы был применён профессором В.И. Коробко.

Исследованиями установлено, что коэффициент формы является геометрическим аналогом прогиба в задачах поперечного изгиба тонких пластинок.

Максимальный прогиб линейно деформируемой пластинки, вызванный действием нагрузки q , равномерно распределённой по её площади A , определяется выражением:

$$w_0 = k_w \frac{q A^2}{D}, \quad (1)$$

где $k_w = f(K_f)$ – значение некоторой функции, установленное аналитически или определённое путём интерполяции для принятых граничных условий рассматриваемой пластинки; D – её цилиндрическая жёсткость.

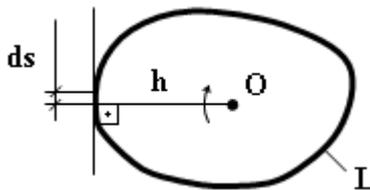


Рисунок 1 – Параметры области для определения K_f

В качестве исходных данных к расчёту принимаются следующие физико-механические характеристики: q – значение равномерно распределённой нагрузки, kH/m^2 ; t – толщина пластинки, мм; E – модуль упругости её материала, МПа; ν – коэффициент Пуассона.

Другая часть исходных данных отражает геометрические параметры формы рассматриваемых пластинок (меры углов приняты в градусах, длины сторон – в метрах):

- *равнобедренные треугольники*: α – угол при основании; a – длина основания;
- *прямоугольные треугольники*: α – острый угол; a – длина прилежащего катета;
- *произвольные треугольники*: α, β – меньшие углы треугольника; a – длина стороны, заключённой между ними;
- *ромбы*: α – меньший угол; a – длина стороны;
- *прямоугольники*: a, b – длины сторон;
- *параллелограммы, равнобокие и прямоугольные трапеции*: α – острый угол; a – длины большей стороны или большего основания; h – высота фигуры;
- *произвольные трапеции*: α, β – острые углы при большем основании; a – длина большего основания; h – высота фигуры;
- *правильные многоугольники*: n – число сторон; a – длина стороны;
- *эллипсы*: a, b – длины полуосей.

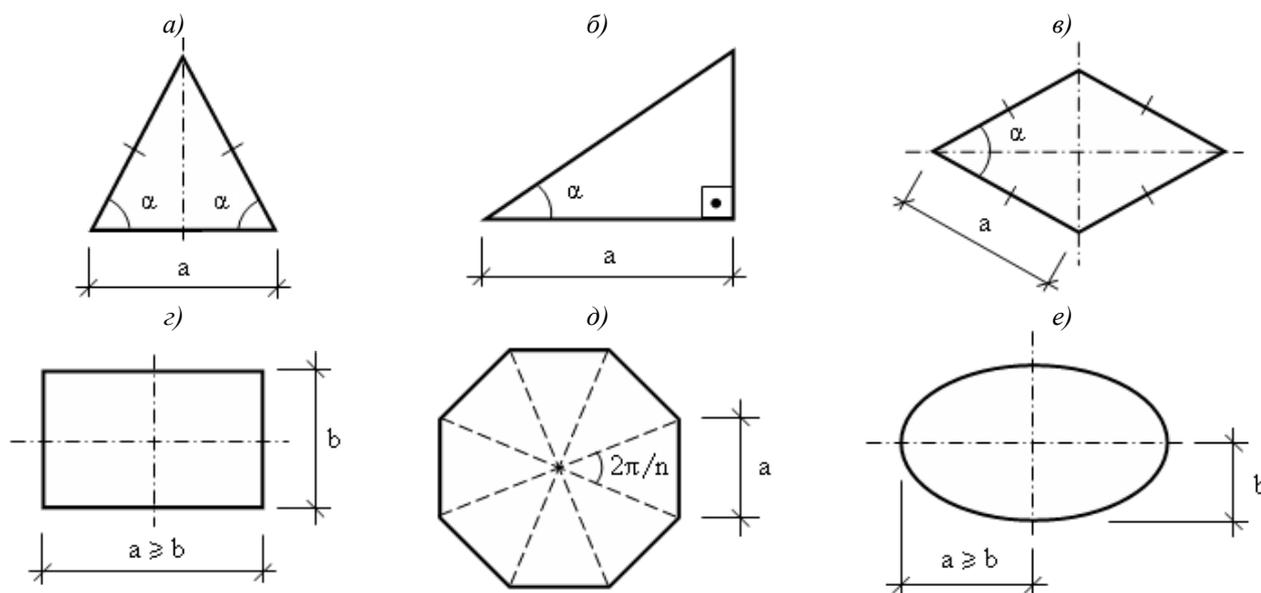
Геометрические параметры, необходимые для расчёта пластинок характерных очертаний показаны на рисунке 2, а также на рисунках 5 и 7 (изображение слева).

В программе рассматриваются пластинки средней толщины, для которых удовлетворяется неравенство: $d_{\min}/100 < t < d_{\min}/10$, где d_{\min} – минимальный габаритный размер пластинки в плане.

В качестве учитываемых граничных условий в программе принято жёсткое защемление и шарнирное опирание по всему контуру, а также все возможные комбинации их сочетаний по отдельным сторонам пластинок. Возможные комбинации граничных условий пластинок для характерных очертаний их контура представлены в виде исчерпывающего набора схем:

- равнобедренные треугольники – 6 возможных схем (рис. 3);
- прямоугольные и произвольные треугольники – 8 схем;
- ромбы – 7 схем (рис. 4);
- прямоугольники – 9 схем;
- параллелограммы – 10 схем;
- равнобокие трапеции – 12 схем;
- прямоугольные и произвольные трапеции – 16 схем.

Для правильных многоугольников в силу изначальной неопределённости числа их сторон принято жёсткое или шарнирное опирание по всему контуру.



*a – равнобедренный треугольник; б – прямоугольный треугольник; в – ромб;
г – прямоугольник; д – правильный n-угольник; е – эллипс*

Рисунок 2 – Исходные геометрические параметры для расчёта пластинок типичного очертания

Для пластинок в форме эллипса рассмотрение граничных условий ограничивается жёстким защемлением, так как приведенные значения прогибов шарнирно опертых пластинок с криволинейным контуром зависят также от величины коэффициента Пуассона.

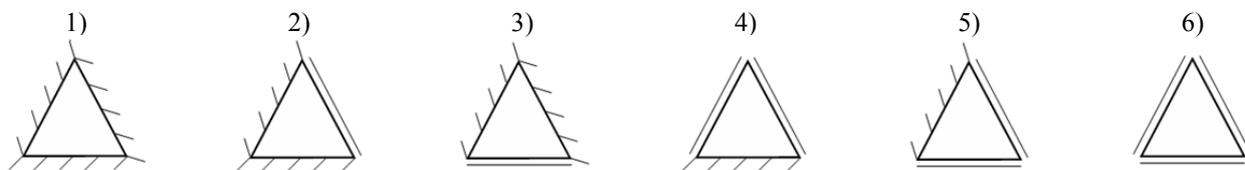


Рисунок 3 – Комбинации граничных условий пластинок в виде равнобедренных треугольников

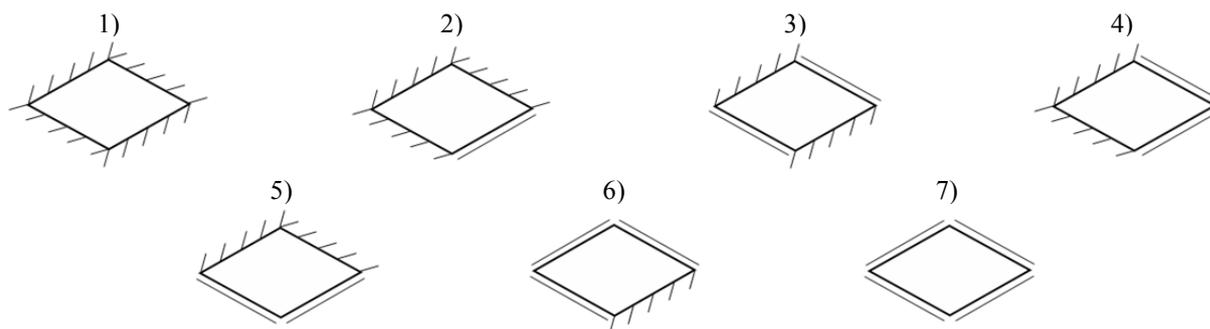


Рисунок 4 – Комбинации граничных условий ромбических пластинок

Аппроксимирующие функции приведенных прогибов пластинок типичных очертаний в виде равнобедренных и прямоугольных треугольников, ромбов, прямоугольников, правильных многоугольников и эллипсов, показанных на рисунке 2, для различных типов граничных условий получены в работе [2] в виде следующих выражений:

$$k_w = a + \frac{b}{K_f} + \frac{c}{K_f^2} + \frac{d}{K_f^3} + \frac{e}{K_f^4} + \frac{f}{K_f^5} + \frac{g}{K_f^6} + \frac{h}{K_f^7} + \frac{i}{K_f^8},$$

$$k_w = \frac{a + c K_f + e K_f^2 + g K_f^3 + i K_f^4}{1 + b K_f + d K_f^2 + f K_f^3 + h K_f^4 + j K_f^5}. \quad (2)$$

В выражениях (2) используются вариативные коэффициенты $a \dots j$, определённые с помощью пакета специализированного математического обеспечения TableCurve 2D.

Для произвольных треугольников, параллелограммов, равнобоких, прямоугольных и произвольных трапеций коэффициент k_w , используемый в выражении (1), определяется с помощью МИКФ по значению коэффициента формы рассматриваемой пластинки.

Сущность МИКФ в рамках поставленной задачи заключается в следующем:

Пусть для пластинки заданной формы X необходимо найти значение максимального прогиба, вызванного действием сплошной равномерно распределённой нагрузки. При этом существуют две различные по форме пластинки A и B , для которых искомые значения прогибов известны (опорные решения). Если форму рассматриваемой пластинки X можно получить в результате какого-либо непрерывного геометрического преобразования пластинок от A к B , то искомая величина максимального прогиба для пластинки формы X может быть найдена интерполяцией опорных решений по коэффициенту формы, значения которого зависят от геометрических параметров A , B и X .

Используемые аффинные преобразования формы пластинок, обладающие свойством сохранения площади рассматриваемых фигур, приведены на рисунке 5. Слева показаны рассматриваемые формы пластинок, справа – соответствующие геометрические преобразования базовых очертаний, для которых значения искомых прогибов определяются выражениями (2).

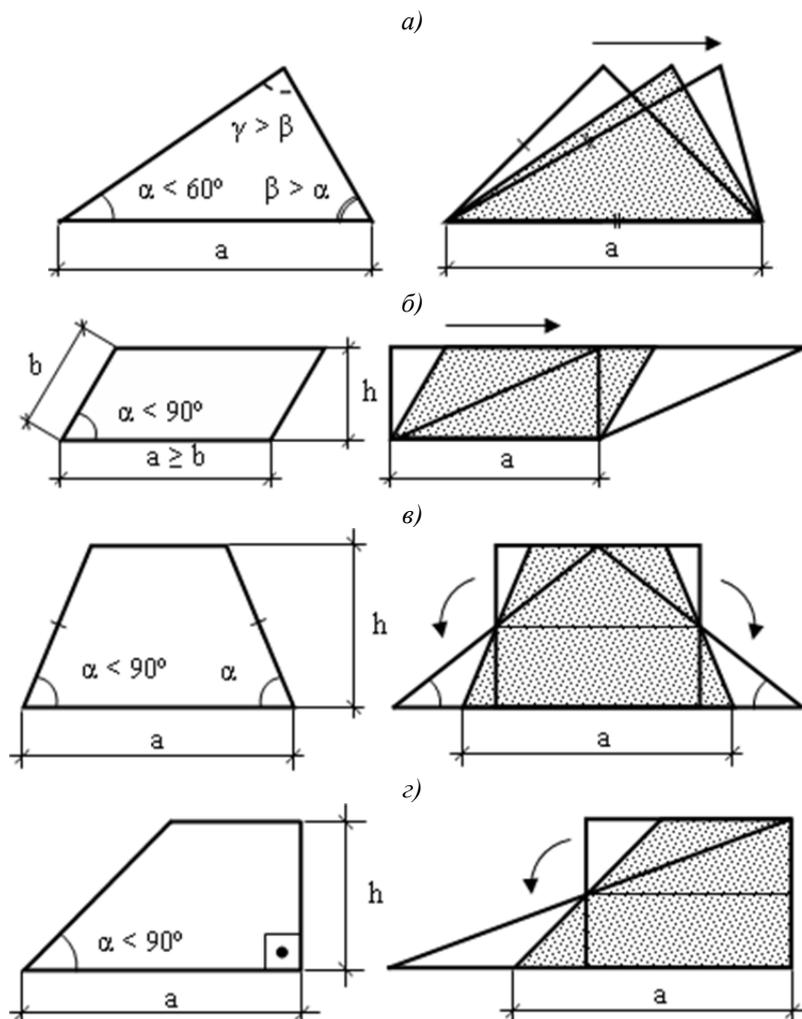
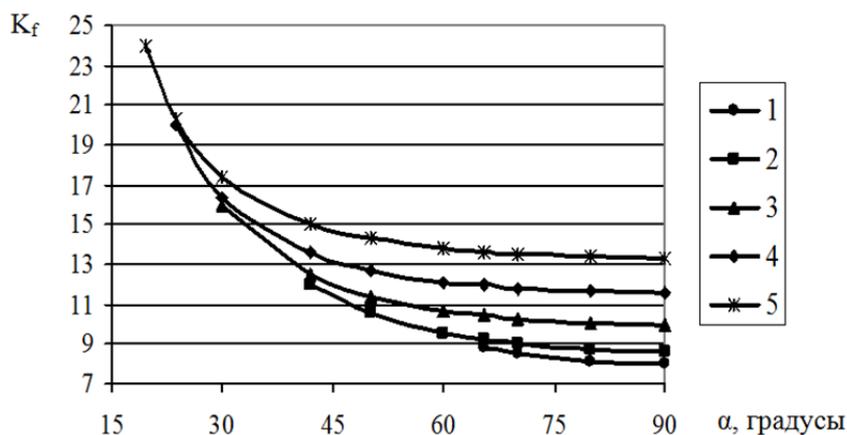


Рисунок 5 – Аффинные преобразования формы пластинок

Форма пластинки в виде произвольного треугольника может быть получена путём параллельного сдвига вершины некоторого равнобедренного треугольника относительно его основания до получения нового равнобедренного треугольника, сторона которого равна основанию первоначального (рис. 5, а).

Форма пластинки в виде нетипичного параллелограмма может быть получена путём параллельного сдвига длинной стороны некоторого прямоугольника до получения второй базовой фигуры в виде ромба (рис. 5, б). Графики, отражающие изменения коэффициента формы промежуточных фигур, при использовании данного преобразования показаны на рисунке 6, где по оси абсцисс отложена изменяющаяся при преобразовании величина острого угла параллелограмма. Значение $\alpha = 90^\circ$ соответствует исходному прямоугольнику. Крайняя левая абсцисса области определения графиков соответствует острому углу ромба.



1) $a/h = 1,1$; 2) $1,5$; 3) 2 ; 4) $2,5$; 5) 3

Рисунок 6 – Графики изменения коэффициента формы при аффинном преобразовании параллелограммов с различным отношением a/h

Формы пластинки в виде равнобоких и прямоугольных трапеций получены вращением боковых сторон относительно их середины при переходе от первой базовой фигуры в виде треугольника ко второй – прямоугольнику (рис. 5, в, г). При этом базовый треугольник будет являться соответственно равнобедренным или прямоугольным.

Для получения промежуточной формы в виде трапеции произвольного очертания используется геометрическое преобразование симметризации показанное на рисунке 7. При этом в качестве базовых фигур приняты соответственно прямоугольная и равнобокая трапеции. В данном преобразовании численное значение площади рассматриваемых фигур не сохраняется, что учитывается далее в используемых интерполяционных формулах. Поскольку опорные решения для базовых трапеций, в свою очередь, определяются в результате использования процедуры интерполяции, значение искомого прогиба пластинки в виде произвольной трапеции будет иметь сравнительно меньшую точность.

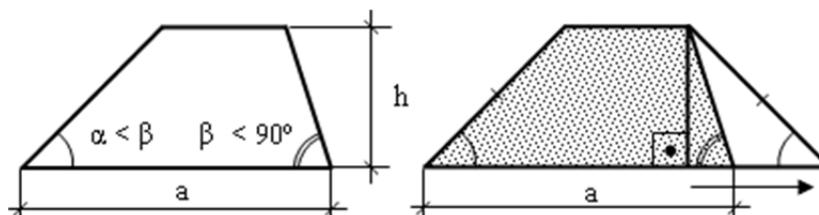


Рисунок 7 – Получение произвольного трапецидального очертания с использованием преобразования симметризации

Для использования МИКФ в специализированном программном обеспечении разрабо-

тана самостоятельная программа KfGeometry*, реализующая алгоритмы вычисления коэффициентов формы для отдельных классов выпуклых односвязных типичных и произвольных областей, ограниченных прямолинейным, дугообразным и смешанным контуром [3].

Интерполяция решений для произвольных треугольных, параллелограммных и пластинок в виде равнобоковых и прямоугольных трапеций выполняется на основе расчётных формул следующего вида:

$$w_0 = w_{01} \left(\frac{K_f}{K_{f1}} \right)^n \quad \text{при } n = \ln(w_{02}/w_{01}) / \ln \left(\frac{K_{f2}}{K_{f1}} \right),$$

где w_{01} , w_{02} – известные значения максимальных прогибов пластинок 1 и 2, принимаемые в качестве опорных решений; K_{f1} , K_{f2} – соответствующие значения коэффициентов формы базовых фигур; K_f – коэффициент формы рассчитываемой пластинки.

Интерполяция решений для пластинок произвольного трапецеидального очертания учитывает изменение численного значения площади преобразуемых фигур:

$$w_0 = w_{01} \left(\frac{K_f}{K_{f1}} \times \frac{A_1}{A} \right)^n \quad \text{при } n = \ln(w_{02}/w_{01}) / \ln \left(\frac{K_{f2}}{K_{f1}} \times \frac{A_1}{A_2} \right),$$

где A_1 , A_2 – площади пластинок 1 и 2, принятых в качестве опорных фигур; A – площадь рассчитываемой пластинки.

Описанная методика получила реализацию в программе KfDeflection† по определению максимальных значений прогибов упругих изотропных пластинок.

Общий алгоритм, реализуемый программой, представлен на рисунке 8.

Рассмотрим ряд примеров использования разработанного программного обеспечения для расчёта максимального прогиба тонких пластинок.

В качестве общих исходных данных примем следующие физико-механические характеристики рассматриваемых пластинок с шарнирным опиранием по контуру: распределённая нагрузка $q = 1$ кН/м², толщина пластинок $t = 10$ мм, модуль упругости материала $E = 206000$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$.

Пример 1. Найти значение максимального прогиба пластинки в виде параллелограмма с длиной основания $a = 1$ м, высотой $h = 0,4330$ м и острым углом $\alpha = 60^\circ$ (рис. 5, б).

После ввода исходных данных и нажатия кнопки «РАСЧЁТ» программа выдаёт значение коэффициента формы области, ограниченной контуром пластинки, максимальные значения приведенного и абсолютного прогиба пластинки.

Рабочее окно программы с исходными данными и результатами расчёта показано на рисунке 9. Максимальное значение прогиба составило: $w_0 = 0,0197$ мм.

Пример 2. Найти значение максимального прогиба пластинки в виде равнобокой трапеции с длиной большего основания $a = 1,5$ м, высотой $h = 1$ м и острыми углами при основании $\alpha = 63,435^\circ$ (рис. 5, в).

Рабочее окно программы с исходными данными и результатами расчёта показано на рисунке 10. Максимальное значение прогиба пластинки составило: $w_0 = 0,188562$ мм.

Пример 3. Найти значение максимального прогиба пластинки в виде прямоугольной трапеции с длиной большего основания $a = 1,5$ м, высотой $h = 1$ м и острым углом при основании $\alpha = 45^\circ$ (рис. 5, г).

Рабочее окно программы с исходными данными и результатами расчёта показано на рисунке 11. Максимальное значение прогиба составило: $w_0 = 0,164144$ мм.

Сравнение полученных значений максимальных прогибов с результатами расчёта в программном комплексе SCAD‡, реализующем МКЭ, приведено в таблице 1.

* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012610432 от 10.01.2012 г.

† Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013612545 от 05.03.2013 г.

‡ Расчёты проведены на кафедре «Строительные конструкции и материалы» ФГБОУ ВПО «ГУ-УНПК», г. Орёл.

Таблица 1 – Сравнение результатов тестовых расчётов

Пример	Форма пластинки	Прогиб пластинки, мм		Относительная погрешность, %
		KfDeflection	SCAD	
1	Параллелограмм	0,019700	0,020056	1,78
2	Равнобочная трапеция	0,188562	0,187944	- 0,33
3	Прямоугольная трапеция	0,164144	0,166397	1,35

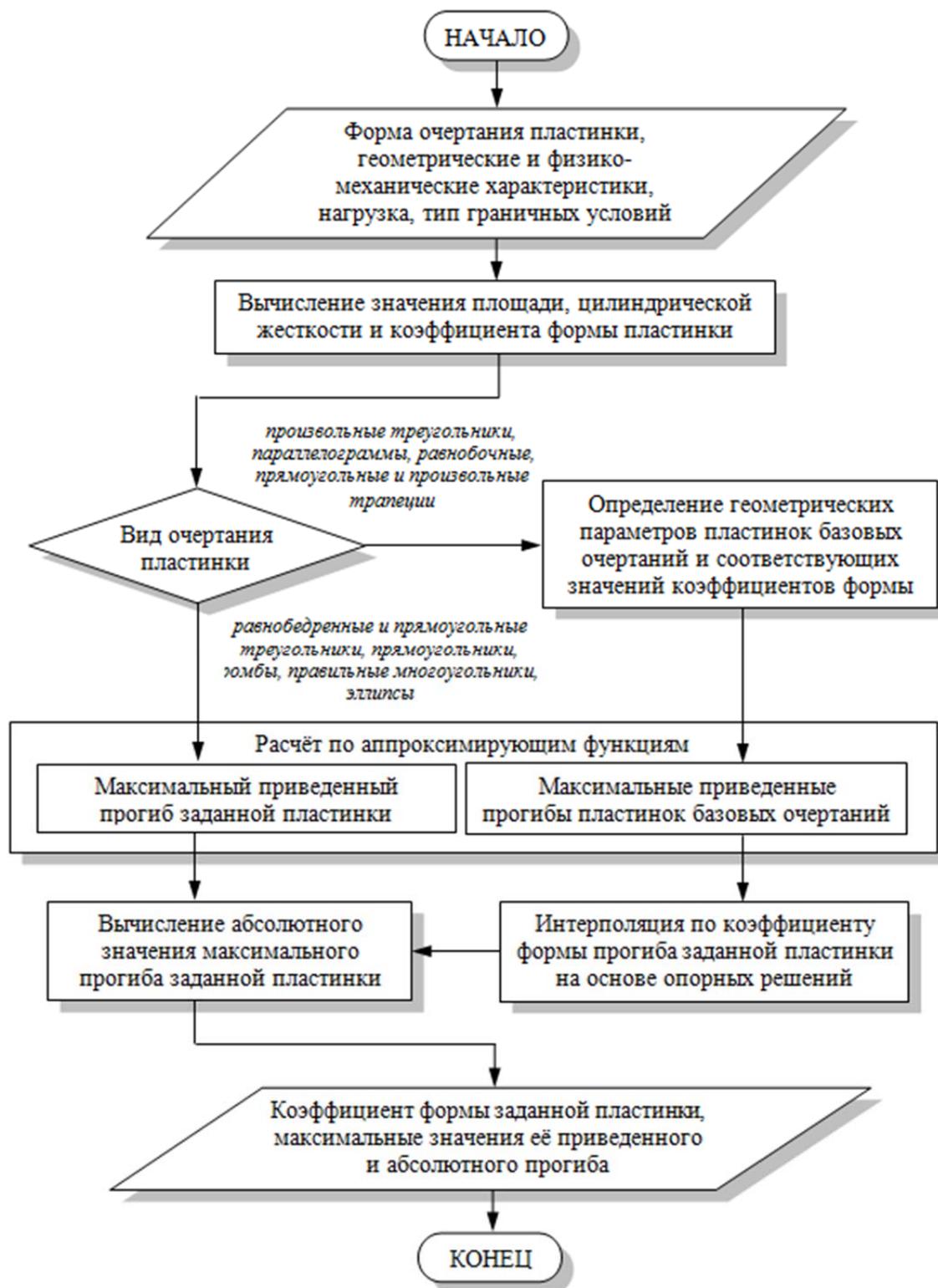


Рисунок 8 – Общий алгоритм программы KfDeflection

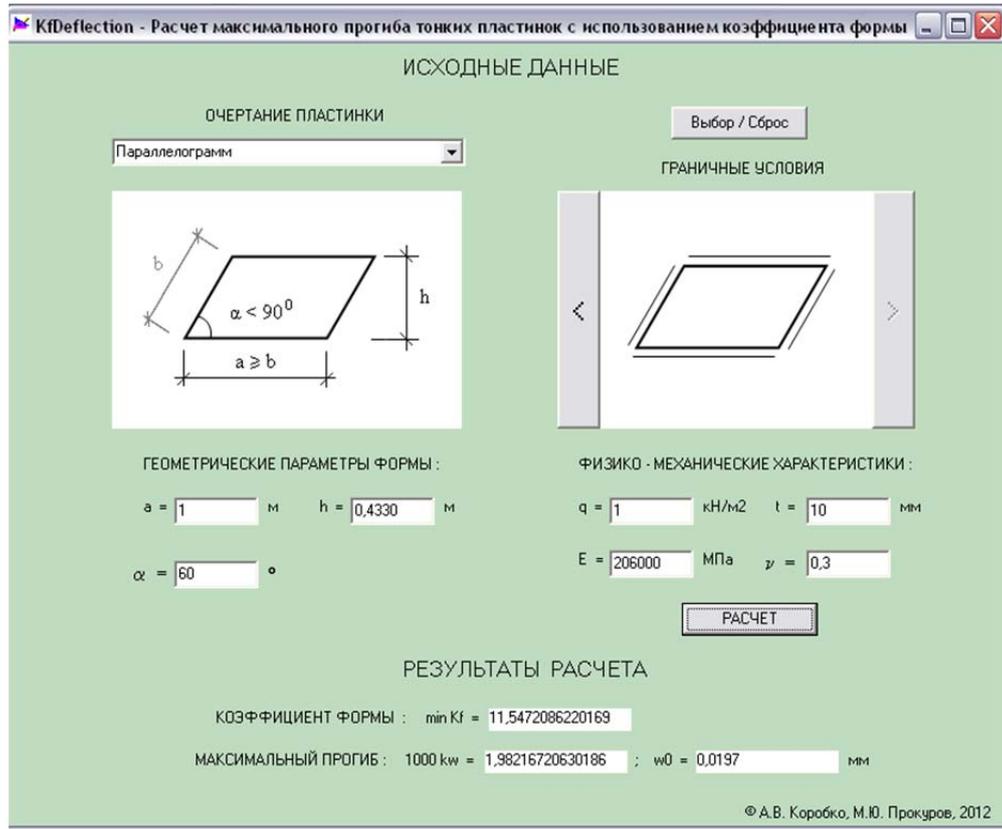


Рисунок 9 – Программная реализация примера 1

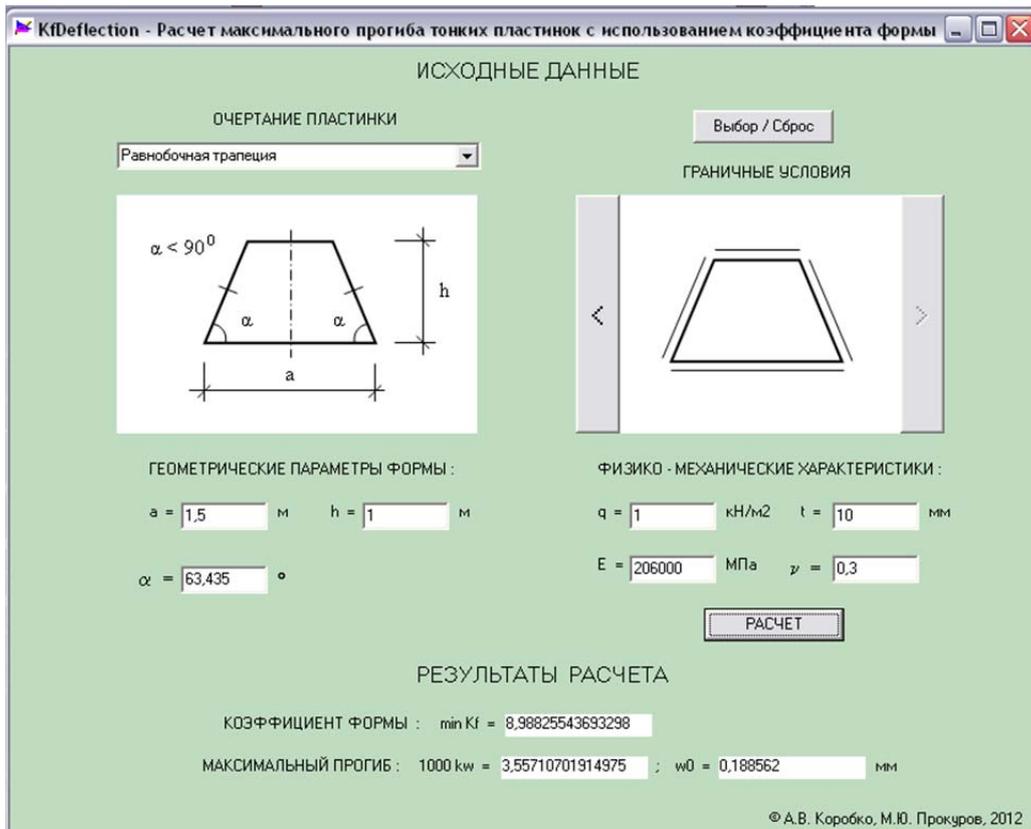


Рисунок 10 – Программная реализация примера 2

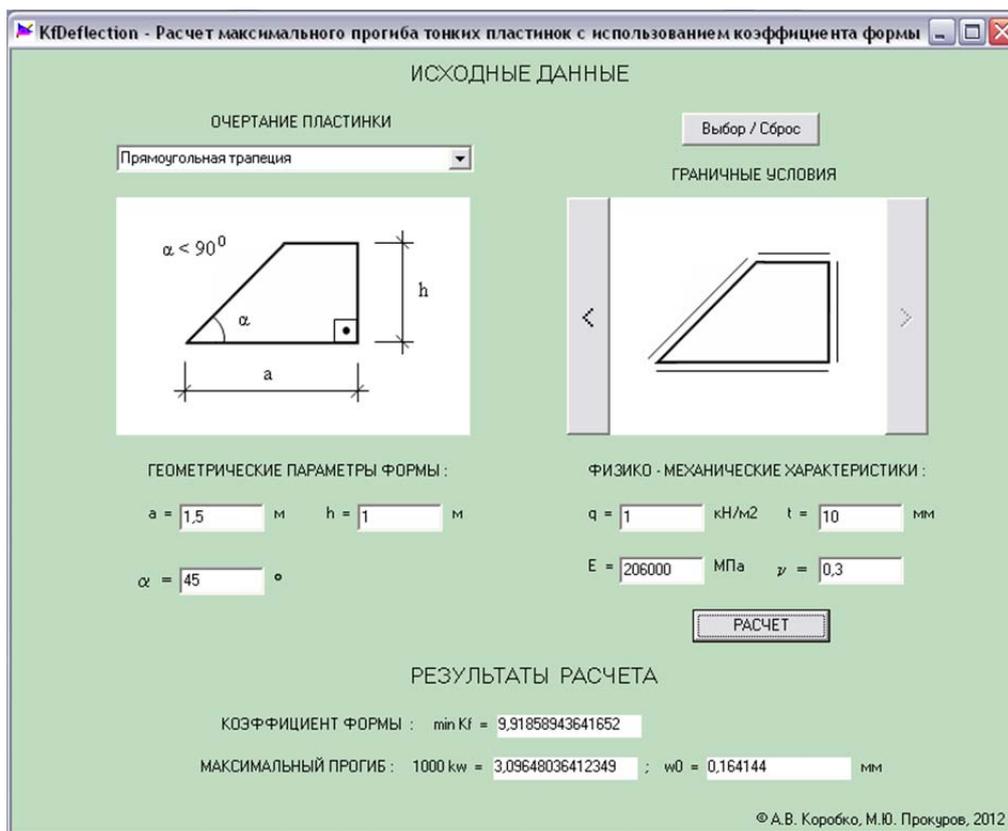


Рисунок 11 – Программная реализация примера 3

Выводы

1. На основе МИКФ разработана методика расчёта максимальных значений прогибов тонких упругих пластинок в виде различных типов треугольников, параллелограммов, трапеций, а также эллипсов и правильных многоугольников с комбинированными граничными условиями контурного опирания, воспринимающих действие нагрузки, равномерно распределённой по всей их площади.
2. Разработано специализированное программное обеспечение для проведения деформационных расчётов пластинок указанных видов при решении расчётно-проектировочных задач строительства и машиностроения.
3. Проведенное сравнение показало достаточную точность определения значений максимального прогиба пластинок, реализуемую разработанным программным обеспечением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: АСВ, 1999. – 320 с.
2. Коробко, А.В. Построение граничных аппроксимирующих функций максимального прогиба пластинок с комбинированными граничными условиями для использования в методе интерполяции по коэффициенту формы [Текст] / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров // Строительство и реконструкция. – 2013. – №1. – С. 3-12.
3. Коробко, А.В. Программа определения значения коэффициента формы плоской замкнутой области, ограниченной выпуклым контуром различного очертания [Текст] / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров // Строительство и реконструкция. – 2013. – №4. – С. 28-37.

Прокуров Максим Юрьевич

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
 Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции»
 Тел.: +7 (4832) 64-59-15
 E-mail: m.prokuroff@mail.ru

M. PROKUROV

PROGRAM OF DEFINITION MAXIMUM DEFLECTION OF BENT ELASTIC PLATES WITH USING THE INTERPOLATION TECHNIQUE BY SHAPE FACTOR

The article describes the procedure, general algorithm and samples demonstrating the work of the program for estimation of maximum deflection of elastic plates with specific geometry of simply connected contour and various boundary conditions combinations, bearing uniformly distributed load. Solving of this problem is based on using the interpolation technique by shape factor.

Keywords: *elastic plates, evenly distributed loading, deformed condition, maximum deflection, shape factor, program.*

BIBLIOGRAPHY

1. Korobko, A.V. Geometricheskoe modelirovanie formy oblasti v dvumernyh zadachah teorii uprugosti [Tekst] / A.V. Korobko. – M.: ASV, 1999. – 320 s.
2. Korobko, A.V. Postroenie granichnyh approksimirujushhih funkciy maksimal'nogo progiba plastinok s kombinirovannymi granichnymi uslovijami dlja ispol'zovanija v metode interpoljacji po koefefficientu formy [Tekst] / A.V. Korobko, M.Ju. Prokurov // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2013. – №1. – S. 3-12.
3. Korobko, A.V. Programma opredelenija znachenija koefefficienta formy ploskoj zamknutoj oblasti, ograničennoj vypuklym konturom razlichnogo ochertanija [Tekst] / A.V. Korobko, M.Ju. Prokurov // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2013. – №4. – S. 28-37.

M. Prokurov

Bryansk state engineering and technological academy, Bryansk
Candidate of technical sciences, associate professor «Building designs»
Ph.: +7 (4832) 64-59-15
E-mail: m.prokuroff@mail.ru

ШМЕЛЕВ Г. Д.

ЭКСПЕРТНЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ИХ ФИЗИЧЕСКОМУ ИЗНОСУ

Рассматривается предложенная ранее нелинейная модель развития физического износа строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. Проводится обоснование применимости модели для прогнозирования остаточного срока службы конструкций. Для практического использования предлагается прогнозирование на основе интервального подхода.

Ключевые слова: прогнозирование, нелинейная модель, остаточный срок службы, физический износ, строительные конструкции.

В последние годы в рамках проводимых обследований промышленных объектов, под надзором Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) обязательным условием для продления эксплуатации объекта требуется выполнить расчет по обоснованию остаточного ресурса или остаточного срока службы. При этом для строительных конструкций не существует утвержденных методик по расчету остаточного срока службы. Имеющиеся методики ряда авторов обладают целым рядом неточностей, кроме того являются настолько сложными, что их использование в инженерной практике требует глубоких знаний в области механики разрушения материалов и других узко специфичных научных теорий.

Исключение составляют методики для стальных конструкций, основанные на изменении толщины сечения элемента. При этом следует отметить, что точное прогнозирование остаточного срока службы строительных конструкций зданий и сооружений, эксплуатирующихся длительное время, и имеющих разнообразные дефекты и повреждения требует учета огромного количества самых разнообразных факторов (прочностные и деформационные свойства материалов, размеры поперечных сечений материалов, величины деформаций, действующие нагрузки, их изменчивость и т.д.). Однако, как отмечается в литературе по прогнозированию, не всегда математически точно выполненный прогноз, построенный с учетом всего объема собранной статистической информации, дает правильный и достоверный результат. Поэтому часто при прогнозировании, в различных областях знаний, используют упрощенные методы и модели прогноза, позволяющие в короткий срок и с достаточной для прогноза достоверностью получить необходимый результат.

Экспертные методы, получившие в последнее время широкое распространение в прогнозировании, как раз и служат для быстрого получения результата в условиях отсутствия полного статистического набора данных и абсолютно точных математических моделей, адекватно описывающих все физические процессы, происходящие как с объектом в целом, так и с составляющими его материалами или отдельными элементами.

Предложенная нелинейная модель развития физического износа была определена на основании ряда проведенных ранее исследований и впервые опубликована в работах [1, 2].

Как отмечается в научной литературе, посвященной вопросам надежности и долговечности [3], развитие и накопление повреждений в различных сложных системах осуществляется согласно кривой представленной на рисунке 1, что соответствует по внешнему виду графиков развития физического износа из [4]. Нелинейная модель такого типа в общем виде описывается математическим выражением (1):

$$y = \ln \left(\frac{1 + B \cdot x / A}{1 - x / A} \right) \cdot \frac{1}{m}, \quad (1)$$

где y – показатель деградации объекта; x – контролируемый параметр (в нашем случае – теку-

щее время); A , B и m – независимые параметры.

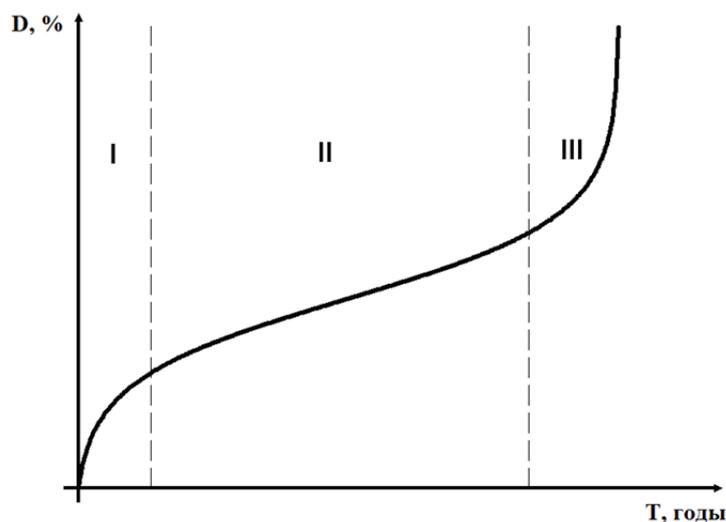


Рисунок 1 – График зависимости накопления повреждений во времени

Простейший анализ формулы (1) показал, что параметр A отвечает за предельное значение по оси абсцисс – предельное время эксплуатации конструкции до выхода из строя. Параметр B – за предельное значение по оси ординат – предельная поврежденность конструкции. Параметр m – характеризует форму кривой. Более глубокий анализ показал, что использование формулы для прогнозирования остаточных сроков службы, возможно в условиях резко ограниченной информации об объекте прогнозирования.

Для выполнения прогноза развития физического износа строительных конструкций формула (1) преобразуется к следующему виду:

$$f = \ln\left(\frac{1 + F \cdot t / T}{1 - t / T}\right) \cdot \frac{1}{m}, \quad (2)$$

где f – физический износ строительной конструкции в момент времени t ; F – предельное значение физического износа строительной конструкции на момент времени T ; t – текущее время эксплуатации конструкции, в годах; T – предельное время эксплуатации конструкции до развития максимального физического износа F , в годах; m – коэффициент, характеризующий форму кривой.

Проведенный предварительный анализ формулы (2) и графиков, построенных на при ее использовании, позволил установить следующие математические зависимости коэффициента m от времени предельной эксплуатации конструкции T :

- при предельном значении износа 70%, $m = 0.014 \cdot \ln(T) + 0.082$,
- при предельном значении износа 80%, $m = 0.012 \cdot \ln(T) + 0.073$.

Графическое представление полученных функциональных зависимостей представлено на рисунке 2.

Анализ результатов расчетных значений и графиков, представленных на рисунке 2, проведенный с учетом нормированных сроков службы конструкций и зданий с учетом групп капитальности, показал, что для большинства несменяемых конструкций зданий значение коэффициента m может быть принято равным: при предельном физическом износе 70% – 0,15, а при предельном физическом износе 80% – 0,13.

Подробный анализ зависимости (2) показывает, что в формулу входит четыре попарно зависимых параметра. Первая пара: F и T – характеризует последнюю точку на графике функции, соответствующую пределу эксплуатации конструкции, фактически являясь ее координатами. Вторая пара: f и t – характеризует любую промежуточную точку графика, и также являются ее координатами. Из этого следует, что зная любые три значения из четырех, можем найти оставшийся параметр.

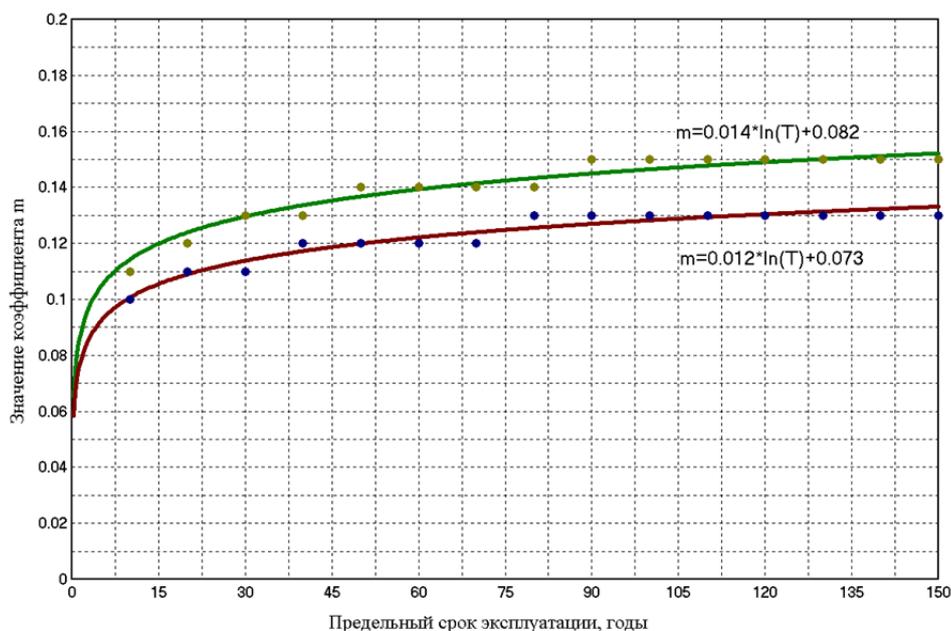


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента m от предельного значения физического износа F и предельного срока службы конструкции T

Поскольку при обследовании конструкции, пара параметров f и t легко определяется, а предельное значение F принимается по таблицам [4] для соответствующих конструкций, то значение T определяется следующим выражением:

$$T = \frac{t \cdot (F + \exp(m \cdot f))}{\exp(m \cdot f) - 1}, \quad (3)$$

Все обозначения в (3) те же, что и в (2).

В случае автоматизированного расчета с использованием ЭВМ значения коэффициента m и предельного времени эксплуатации T по (2) могут быть определены с большей точностью путем итерационного вычисления. Как показали результаты практического использования для получения полной сходимости значений до 2-го знака после запятой достаточно 3-4 итераций.

Дальнейший прогноз по (2), после нахождения значения T по (3), не представляет сложности.

При этом следует отметить, что в качестве предельного значения физического износа, до которого определяется остаточный срок службы, рекомендуется принять значение физического износа 50 % как соответствующее точке второго перегиба на графике (рисунок 2) после которой начинается лавинообразное накопление повреждений и стремительный рост физического износа. Это значение рекомендуется принимать также и по соображениям безопасности, так как при износе более 50% в соответствии с таблицами [4], требуется значительный ремонт или даже полная замена поврежденных конструктивных элементов здания.

Для получения интервала прогнозируемых значений остаточных сроков службы следует использовать интервал значений физического износа, приведенный в соответствующих таблицах [4].

В этом случае прогноз будет выглядеть следующим образом:

- значение физического износа – 20..40%;
- предельное значение износа – 70%;
- срок службы (интервал предыстории) – 24 года.

В соответствии с формулой (3) предельные сроки эксплуатации будут ограничены интервалом значений:

- для верхней границы – 28 лет;
- для нижней границы – 113 лет.

Графическое представление развития физического износа в этом случае представлено на рисунке 3.

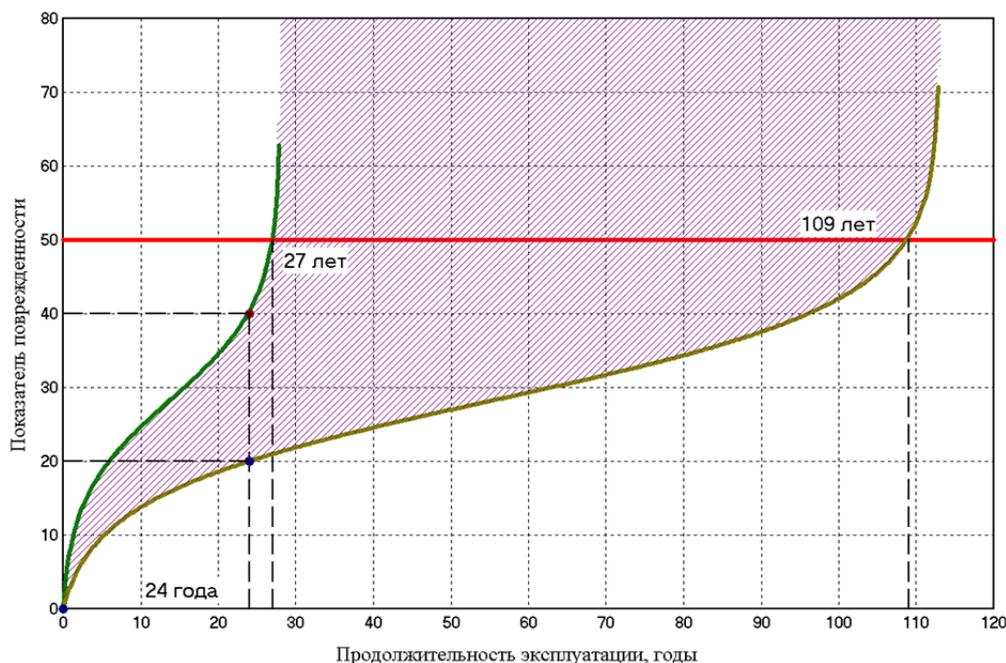


Рисунок 3 – Построение прогноза развития технического состояния конструкции на основе нелинейной модели физического износа (2) с учетом интервальной оценки физического износа

В соответствии с рисунком 3 интервал сроков службы, до достижения аварийного состояния (физический износ 50%) оценивается интервалом от 27 до 109 лет. С учетом интервала предыстории эксплуатации интервал остаточного срока службы, до достижения конструкциями 50 % физического износа, составляют от 3 до 85 лет.

Для оценки применимости модели физического износа (2) были проведены дополнительные исследования. Исследования были выполнены с использованием материалов технических отчетов, выполненных в разное время сотрудниками нескольких организаций, по зданиям различного назначения, с разными по продолжительности сроками эксплуатации. Для получения представления о зданиях, краткие сведения о них приведены в таблице 1. В графе «Назначение» в скобках указаны дополнительные сведения о здании (недостроенное, не эксплуатируемое, заброшенное и т.д.). Здания, для которых дополнительные сведения не указаны – эксплуатируемые.

При проведении исследования, здания были сформированы в группы, по однотипным конструкциям. Данные о физическом износе однотипных конструкций, выполненных из одинаковых материалов, были взяты из отчетов по ранее проведенным обследованиям.

Регрессионные модели, построенные по физическому износу некоторых строительных конструкций, представлены на рисунках 4-6. Сплошной линией на рисунках показаны регрессионные модели, а пунктиром графики, проходящие через точки, имеющие максимальные отклонения от регрессионной модели, как в положительную, так и в отрицательную сторону.

При построении регрессионных моделей, явные выбросы, соответствующие конструкциям, находящимся в условиях эксплуатации, резко отличающихся от нормальных условий предусмотренных проектом, были отброшены. На рисунках 4-6 эти значения обозначены как «выбросы». Как видно из графиков, представленных на рисунках, предложенная модель развития физического износа, одинаково справедлива для различных конструктивных элементов зданий, выполненных из самых разных материалов и выполняющих различные функции (каменные стены и железобетонные плиты). Имеющиеся отклонения от регрессионной кривой для различных конструкций легко объяснимы неодинаковыми условиями эксплуатации различных зданий, изначально различными по прочности материалами конструкций, а также дополнительными ошибками, допущенными в проектах, а также при строительстве и эксплуатации. Выбросы, отмеченные на рисунке 6, для стен из силикатного кирпича объясняются значительным увлажне-

нием и частичным разрушением силикатного кирпича, что и привело к преждевременному повышенному физическому износу конструкций. Выбросы значений физического износа (40%) многопустотных плит, отмеченные на рисунке 6, вызваны длительными течами с кровли и из систем водоснабжения и водоотведения в общественных санитарных узлах (общезития).

Таблица 1 – Краткие сведения об обследованных зданиях

Адрес объекта	Назначение	Этажность	Год постройки	Год обследования
г. Воронеж, ул. Карпинского, д. 22	Жилой дом	2	1952	2010
г. Воронеж, ул. Кирова, д. 10	Жилой дом	10	1979	2010
г. Воронеж, ул. Лидии Рябцевой, д. 1	Жилой дом	2	1945	2010
г. Воронеж, ул. Хользунова, д. 74	Общезитие	9	1976	2010
г. Воронеж, ул. Владимира Невского, д. 15-б	производственный корпус ВНИИ «ВЕГА» (недостроенный)	3	1991	2007
г. Воронеж, ул. Бульвар Пионеров, д. 17	Жилой дом	5	1960	2008
г. Воронеж, пер. Балтийский, д. 79	Музыкальный зал ясли-сада № 178 (аварийный, использовался как временный склад)	1	1988	2006
г. Воронеж, ул. Карла Маркса, д. 72	Объект культурного наследия «Дом М.М. Сомова, в котором жил С.Я. Маршак»	2	1917	2007
г. Воронеж, ул. Богдана Хмельницкого, д. 35	Спортивный зал Воронежского электромеханического колледжа железнодорожного транспорта	1	1960-1965	2004
г. Нововоронеж, ул. Коммунальная, д. 5	Жилой дом	5	2000	2008
г. Воронеж, ул. Платонова, д. 3	Объект культурного наследия «Комплекс гостиницы "Киевское подворье», Гостиничные здания конца XIX - начала XX веков" (заброшенное)	2	конец XIX – начало XX веков	2007
г. Воронеж, пос. Сомово, ул. Парковая, д. 1А	Профилакторий (недостроенное)	5	1998-2000	2008
г. Воронеж, ул. Дорожная, д. 15а	Общезитие технического училища	4	1971-1973	2003
г. Воронеж, ул. Беговой, 120	Школа №6	4	1958	2004
г. Воронеж, ул. Чапаева, д. 42а	Столовая (неэксплуатируемое)	1	1948	2005

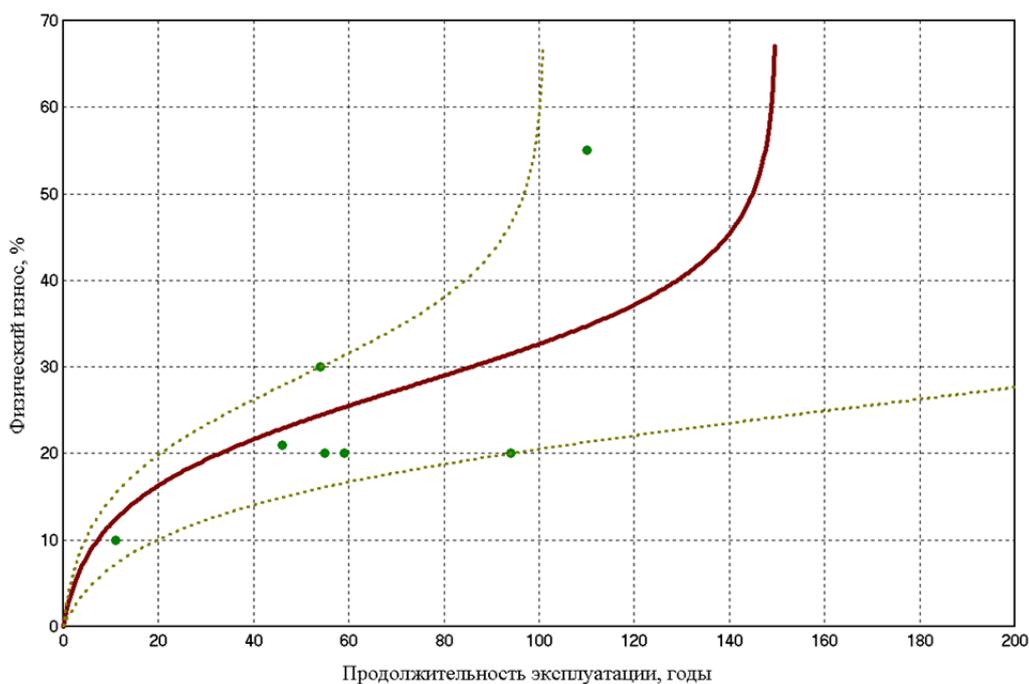


Рисунок 4 – Регрессионная модель развития физического износа каменных стен зданий, выполненных из глиняного кирпича

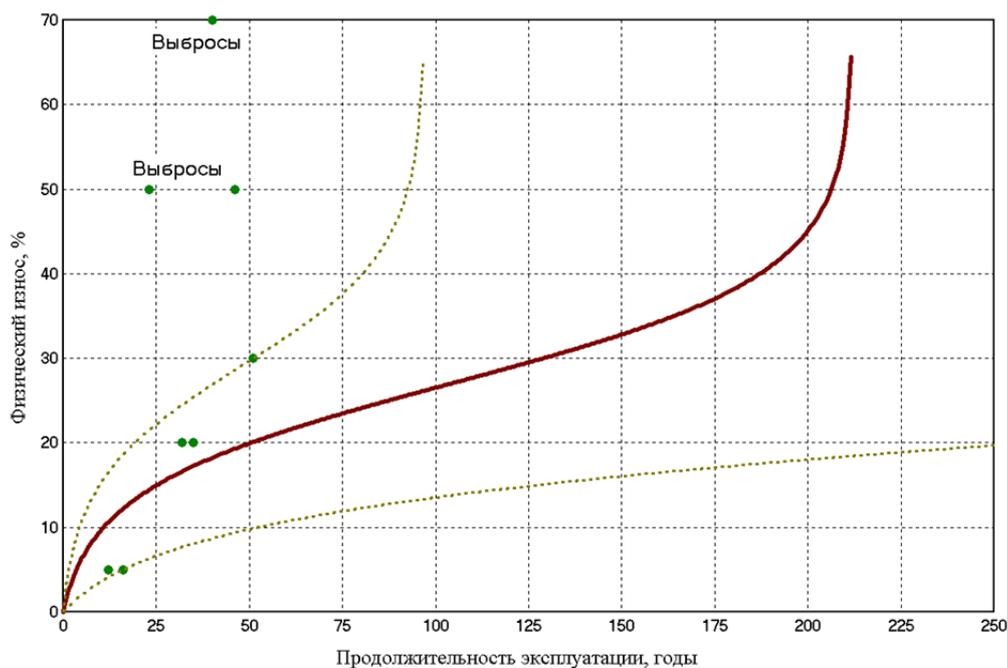


Рисунок 5 – Регрессионная модель развития физического износа каменных стен зданий, выполненных из силикатного кирпича

В монографии Стражникова А.М. [5] отмечается, что физический износ элементов и зданий вызывается главным образом старением материалов. Для подтверждения этого приводятся следующие данные по физическому износу (рис. 7 и 8).

В той же работе [5] со ссылкой на [6] отмечается, что проведенный анализ материалов обследования большого количества зданий в г. Москве показал, что износ как зданий в целом, так и по отдельным конструктивным элементам происходит более интенсивно в первый период эксплуатации и после 90-100 лет.

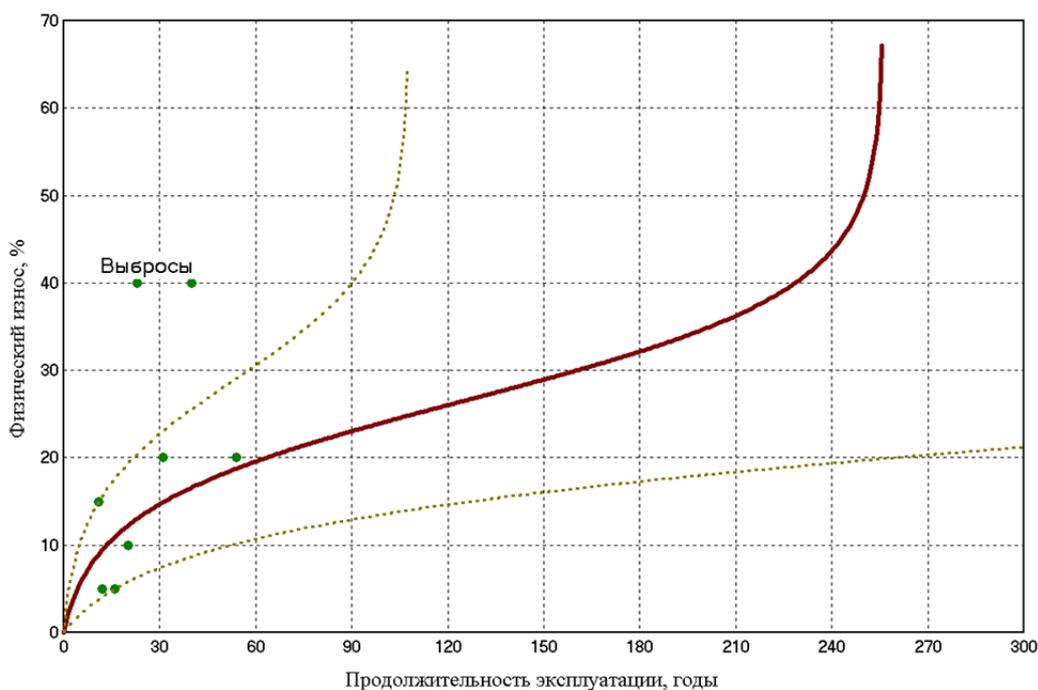


Рисунок 6 – Регрессионная модель развития физического износа многопустотных железобетонных плит междуэтажных перекрытий

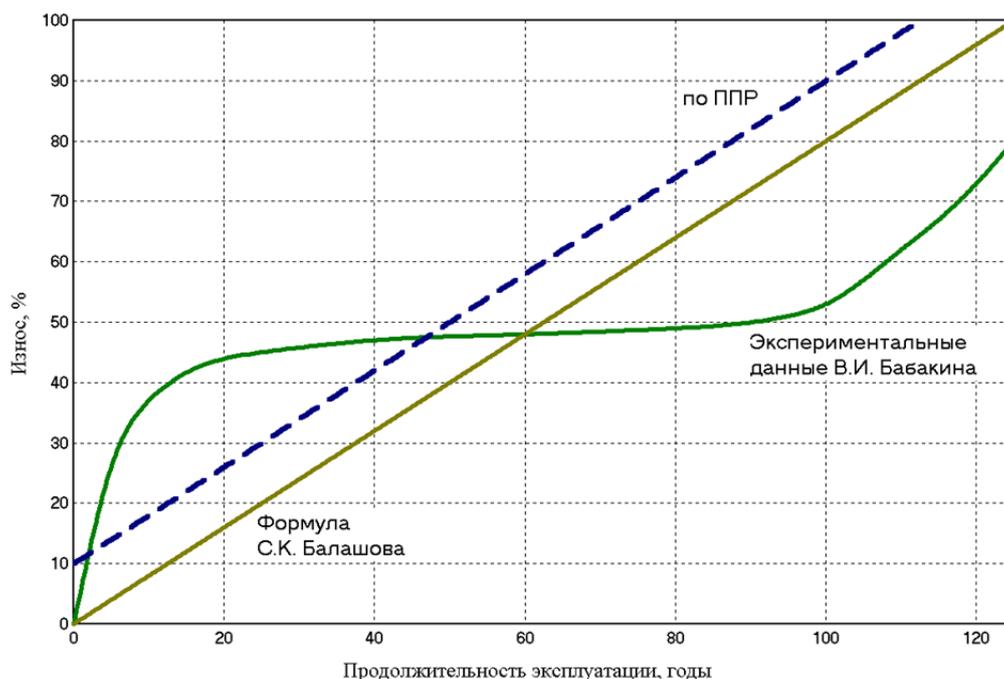


Рисунок 7 – Изменение физического износа жилых домов 2-й группы капитальности [5, рис. 4.10]

Предложенная нами модель (2) в соответствии с экспериментальными данными (рис. 4-6) дает практически те же результаты по интенсивности развития физического износа.

Сравнение кривых износа на рисунках 7 и 8, полученных по экспериментальным данным разных авторов, свидетельствует о схожести очертаний предложенной модели развития физического износа (2) и построенных с ее помощью графиков (рис. 3-6).

Расхождение экспериментальных данных по г. Москве с данными Колотилкина Б.М. (рис. 8) свидетельствует о влиянии уровней подготовки специалистов, проводящих оценку показателей физического износа, а также необходимости выполнять такую оценку на основе интервалов.

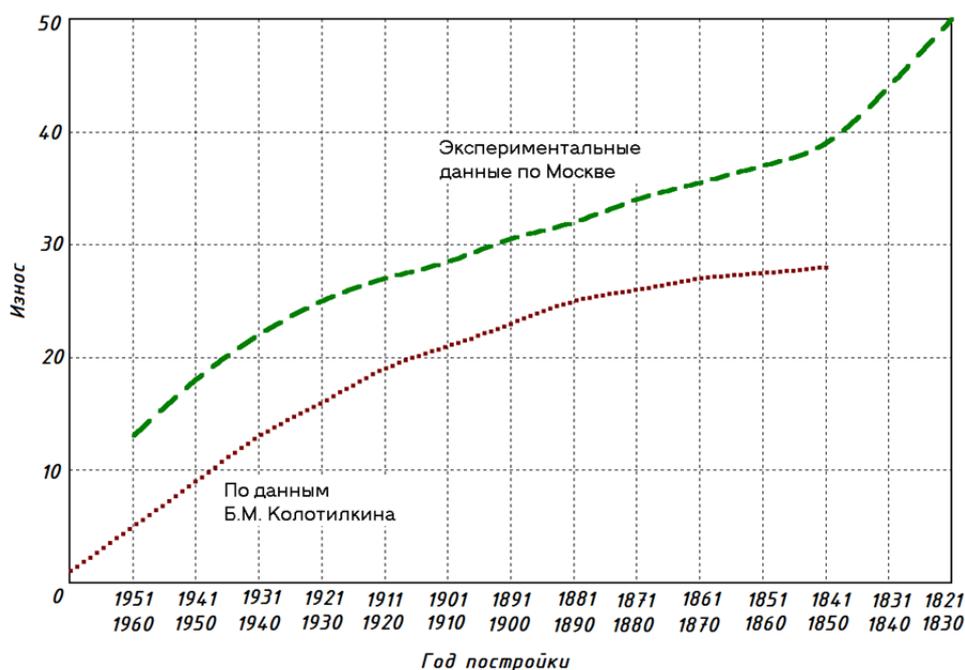


Рисунок 8 – Изменение физического износа фундаментов [5, рис. 4.11]

Проведенный сравнительный анализ экспериментальных данных из работ [5 и 6] с предложенной моделью развития физического износа (2), представленный на рисунке 9 показал достаточно высокую сходимость результатов. Точками на рисунке 9 представлены экспериментальные данные, сплошной линией усредненная модель развития физического износа по (2), пунктирными линиями – модели развития физического износа при наихудших и наилучших условиях эксплуатации.

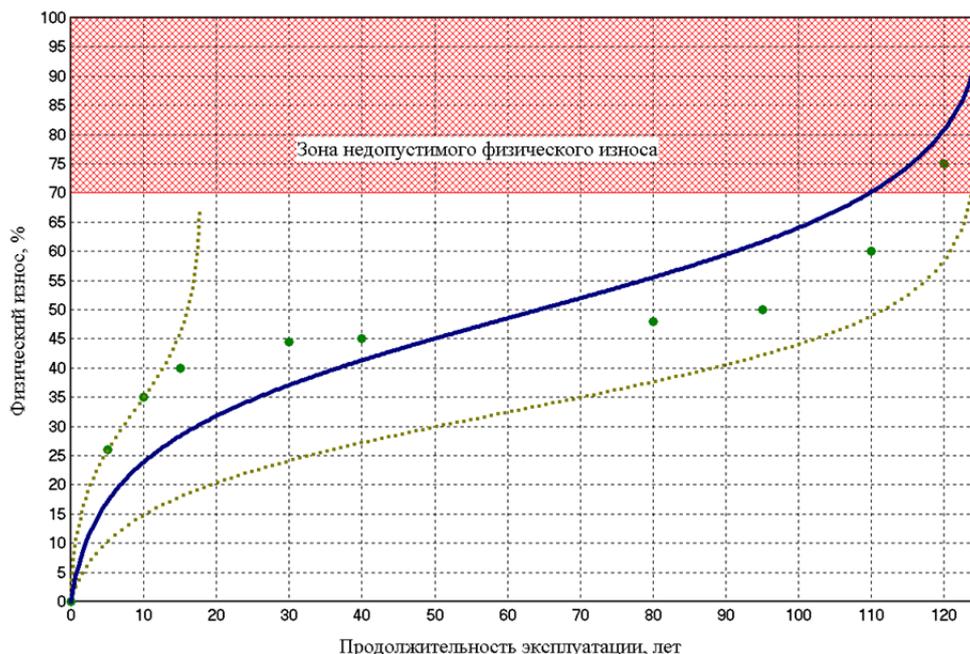


Рисунок 9 – Проверка предложенной модели развития физического износа (2) экспериментальными данными по [5 и 6]

Анализ результатов сравнения показывает, что предложенная теоретическая кривая, построенная по средним значениям, имеет некоторые отклонения от экспериментальных данных (точки на рисунке 9). Отклонение в начальной стадии эксплуатации составляет до 25%, в конечной – до 24%. При этом кривые развития износа, построенные по крайним точкам (*min* и *max*) полностью совпадают с экспериментальными значениями и накрывают всю область развития физического износа.

Как показывают результаты проведенного исследования, предложенная зависимость (2), позволяет использовать ее для выполнения экспертного прогноза остаточного срока службы любой строительной конструкции используя минимальный набор исходных данных. Из приведенного выше материала следует, что точность прогноза составляет не более 25%, однако скорость получения результата, а также наглядность и простота предложенной методики, позволяют с успехом использовать ее для предварительной оценки остаточного срока службы любой строительной конструкции имеющей те или иные дефекты и повреждения. При этом ближайшая к моменту проведения граница остаточного срока службы фактически будет так называемой «наиболее консервативной оценкой».

Понятие «наиболее консервативная оценка» взято из работы по прогнозированию сроков службы технологического оборудования атомных станций [7]. Это понятие характеризует прогноз по наихудшему сценарию развития.

Дальнейшие работы по разработке экспертных методов прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций направлены на учет степени поврежденности конструкций, а также вероятное снижение несущей способности конструкций, как в линейной, так и в нелинейной постановке. Планируется создание комплексного подхода к оценке остаточных сроков службы с использованием всех разработанных экспертных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмелев, Г.Д. Некоторые аспекты прогнозирования надежности и долговечности строительных конструкций зданий [Текст] / Г.Д. Шмелев // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения. Труды 4-й Междун. конф. – СПб.: Нестор, 2001. – С. 366-370.
2. Шмелев, Г.Д. Некоторые аспекты надежности строительных конструкций [Текст] / Г.Д. Шмелев // Материалы и технологии XXI века: Сб. матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Пенза, 2011. Ч. III. – С. 122-124.
3. Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций [Текст] / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
4. ВСН 53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий [Текст] // Госгражданстрой. – М.: Прейскурантиздат. 1988. – 72 с.
5. Стражников, А.М. Мониторинг качества жилищного фонда [Текст] // Научная работа. – М.: Весь Сергиев Посад, 2002. – 388 с.
6. Бабакин, В.И. Техническое состояние и физический износ жилых зданий [Текст] / В.И. Бабакин // Городское хозяйство Москвы. – 1986. – №11. – С. 26-27.
7. Острейковский, В.А. Теория надежности [Текст] / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк. 2003. – 463 с.

Шмелев Геннадий Дмитриевич

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство»
Тел.: +7 (4732) 54-92-96
E-mail: shmelev8@mail.ru, shmelev@vgasu.vrn.ru

G. SHMELEV

EXPERT METHOD OF PREDICTING THE RESIDUAL LIFE BUILDING STRUCTURES OF THEIR PHYSICAL DETERIORATION

We consider the previously proposed non-linear model of physical depreciation of building structures maintained buildings and structures. We justify the applicability of the model to predict the residual life of structures. For the practical use of the proposed prediction based interval approach.

Keywords: forecasting, nonlinear model, residual service life, physical deterioration, building construction

BIBLIOGRAPHY

1. Shmelev, G.D. Nekotorye aspekty prognozirovaniya nadezhnosti i dolgovechnosti stroitel'nyh konstrukcij zdaniy [Tekst] / G.D. Shmelev // Nauchno-tehnicheskie problemy prognozirovaniya nadezhnosti i dolgovechnosti konstrukcij i metody ih resheniya. Trudy 4-j Mezhdun. konf. – SPb.: Nestor, 2001. – S. 366-370.
2. Shmelev, G.D. Nekotorye aspekty nadezhnosti stroitel'nyh konstrukcij [Tekst] / G.D. Shmelev // Materialy i tehnologii XXI veka: Sb. mater. Vseros. nauch.-prakt. konf. – Penza, 2011. Ch. III. – S. 122-124.
3. Bolotin, V.V. Prognozirovaniye resursa mashin i konstrukcij [Tekst] / V.V. Bolotin. – M.: Mashinostroeniye, 1984. – 312 s.
4. VSN 53-86(r). Pravila ocenki fizicheskogo iznosa zhilyh zdaniy [Tekst] // Gosgrazhdanstroj. – M.: Prejskurantizdat. 1988. – 72 s.
5. Strazhnikov, A.M. Monitoring kachestva zhilishhnogo fonda [Tekst] // Nauchnaya rabota. – M.: Ves' Sergiev Posad, 2002. – 388 s.
6. Babakin, V.I. Tehnicheskoye sostoyaniye i fizicheskij iznos zhilyh zdaniy [Tekst] / V.I. Babakin // Gorodskoye hozjajstvo Moskvy. – 1986. – №11. – S. 26-27.
7. Ostrejkovskij, V.A. Teoriya nadezhnosti [Tekst] / V.A. Ostrejkovskij. – M.: Vyssh. shk. 2003. – 463 s.

G. Shmelev

Voronezh state university of architecture and civil engineering, Voronezh
Candidate of technical science, docent of the department «Urban construction and management»
Ph.: +7 (4732) 54-92-96
E-mail: shmelev8@mail.ru, shmelev@vgasu.vrn.ru

УДК 628.147.2

АВЕРКЕЕВ И.А., ОРЛОВ В.А.

ФАКТОР ПРОЧНОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПОЛИМЕРНОГО РУКАВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ НАПОРНОГО ТРУБОПРОВОДА

Представлена модель системы стального напорного трубопровода с дефектом и защитного полимерного рукава. Проведено прочностное исследование поведения данной системы при различном давлении воды в трубопроводе. Получены результаты прочностного расчёта, позволяющие судить об эффективности применения полимерного рукава в качестве материала для реновации напорного трубопровода с точки зрения обеспечения прочности системы.

Ключевые слова: полимерный рукав, стальной трубопровод, прочностная модель системы.

Защитные полимерные рукава, применяемые для реновации трубопроводов водоснабжения и канализации с помощью бестраншейных методов, становятся всё более и более распространёнными в последние годы [1].

При реновации напорных трубопроводов водоснабжения, необходимо учитывать не только гидравлические характеристики восстанавливаемой системы «труба-полимерный рукав», но и её прочностные способности.

Целью данной работы является исследование прочностных параметров реконструируемых напорных трубопроводов систем водоснабжения с помощью защитных полимерных рукавов [2]. Результаты работы помогут в дальнейшем определить наиболее оптимальные пути реновации трубопроводов систем водоснабжения бестраншейными методами с точки зрения обеспечения прочностных характеристик восстанавливаемого трубопровода.

Исследование и анализ прочностных характеристик системы «труба-полимерный рукав» проводилось с помощью моделирования в программе конечно-элементного анализа Ansys, созданной американской компанией Ansys Inc [3, 4]. Программный комплекс даёт возможность создать геометрическую модель исследуемого объекта, а также назначить физико-механические характеристики каждому элементу рассматриваемой системы. Также в программе можно устанавливать различные нагрузки и воздействия на исследуемый объект и назначать необходимый температурный режим. Назначение конечно-элементной расчётной сетки для объекта исследования является важным моментом при работе с программой. Количество узлов и элементов сетки напрямую влияют на точность и достоверность результатов, поэтому исследователю сосредоточиться на определенной расчетной зоне для того, чтобы наиболее эффективно использовать покрытие сеткой исследуемого объекта (например, область дефекта на трубопроводе). По итогам расчёта в данном программном комплексе возможно получить необходимые результаты в графическом или табличном виде.

В качестве объекта исследования был выбран отрезок стального напорного трубопровода системы водоснабжения длиной 20 см, диаметром 300 мм и остаточной толщиной стенки 2 мм. Защитный полимерный рукав выполнен на основе эпоксидной смолы марки 1020-0, как наиболее оптимальный вариант с точки зрения доступности и стоимости сырья, а также экологической безопасности. Физико-механические характеристики стального трубопровода и полимерного рукава представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики стали и полимерного рукава

Показатели	Сталь	Полимерный рукав
Плотность, кг/м ³	7850	1200
Модуль Юнга, Па	2×10^{11}	$3,5 \times 10^9$
Коэффициент Пуассона	0,3	0,3
Модуль объемной упругости, Па	$1,6667 \times 10^9$	$2,9167 \times 10^9$
Модуль сдвига, Па	$7,6923 \times 10^9$	$1,3462 \times 10^9$
Предельная разрывная прочность, Па	$4,6 \times 10^8$	6×10^7
Коэффициент температурного расширения (для 20°C), °C ⁻¹	$1,2 \times 10^{-5}$	5×10^{-5}

Также в качестве исходных параметров использовались следующие данные:

1. Температура транспортируемой воды – 5°C.
2. Толщина полимерного рукава – 5 мм.
3. Полимерный рукав плотно прилегает к внутренней стенке трубы.
4. Дефект – сквозной свищ диаметром 5 см.
5. Приложенная нагрузка – давление воды внутри трубопровода (приложено непосредственно к полимерному рукаву) и последовательно изменяемое согласно величинам – 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 1 и 2 МПа.
6. В качестве расчетной зоны трубопровода рассмотрена сводная часть трубы с дефектом (рис. 1).

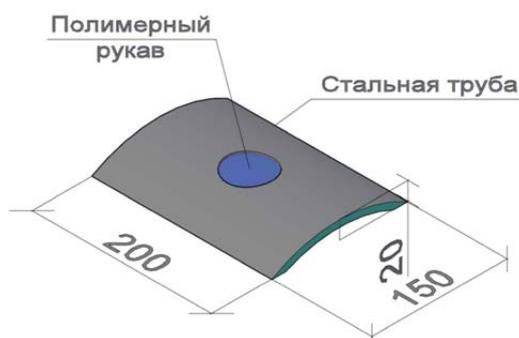


Рисунок 1 – Расчётная зона трубопровода

Конечно-элементная сетка для данной модели представлена на рисунке 2 и имеет следующие параметры:

1. Средний размер элемента – 1,80 мм;
2. Число узлов – 40943;
3. Число элементов – 87322.

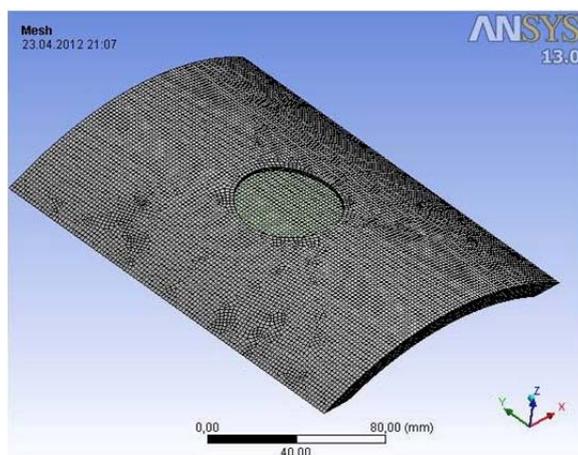


Рисунок 2 – Назначенная конечно-элементная сетка модели

Расчёт и анализ производился с учётом работы всей системы в целом, однако необходимые выходные данные (графические и числовые) представлены только для полимерного рукава, поскольку основная задача состояла в рассмотрении полимерного рукава в качестве фактора обеспечения прочностных показателей при работе в системе со стальным напорным трубопроводом.

В качестве результатов для оценки эффективности защитного полимерного покрытия определялись:

1. Относительное удлинение материала, %;
2. Эквивалентное напряжение (напряжение Мизеса):

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2)}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения.

3. Максимальное главное напряжение, МПа;

4. Максимальное напряжение сдвига, МПа;

5. Критерий прочности (коэффициент запаса); рассматривается отношение предела прочности на разрыв полимерного рукава с возникающими максимальными эквивалентными напряжениями.

Результаты расчёты системы «стальная труба-полимерный рукав» для полимерного рукава представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты прочностного расчёта для полимерного рукава

Внутреннее давление, МПа	Удлинение, %	Эквивалентное напряжение, МПа	Максимальное главное напряжение, МПа	Максимальное напряжение сдвига, МПа	Критерий прочности, $\sigma_{\text{е}}/\sigma_{\text{разр.}}$
0,1	0,09480	3,19230	1,63200	1,86700	15,00000
0,2	0,18971	6,38460	3,73520	3,26400	9,39760
0,3	0,28457	9,57690	5,59640	4,89600	6,26500
0,4	0,37943	12,76900	7,47110	6,52800	4,69880
0,5	0,47429	15,96200	9,31820	8,16000	3,75900
1,0	0,94857	31,92300	18,67500	16,32000	1,87950
2,0	1,89710	63,84600	37,32800	32,64000	0,93976

На рисунках 3, 4 и 5 представлены основные графические зависимости, полученные на основе результатов приведенного конечно-элементного анализа модели «стальная труба-полимерный рукав».

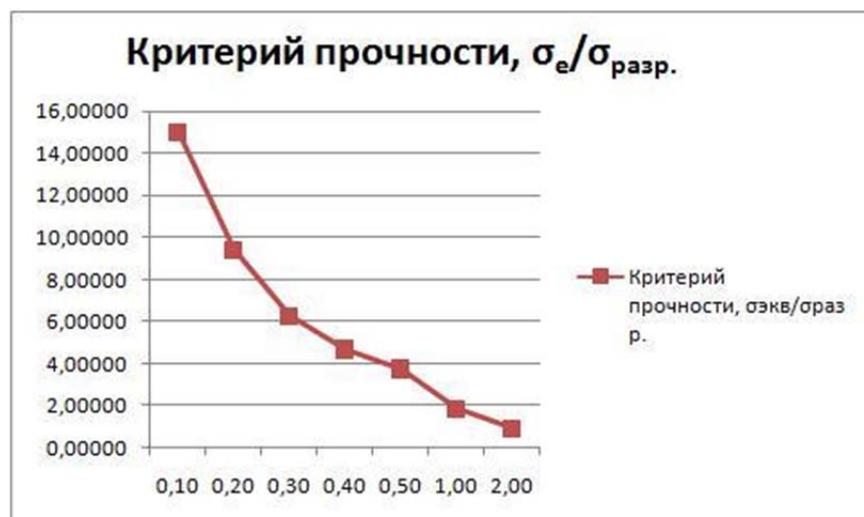


Рисунок 3 – Зависимость критерия прочности от давления воды в трубопроводе

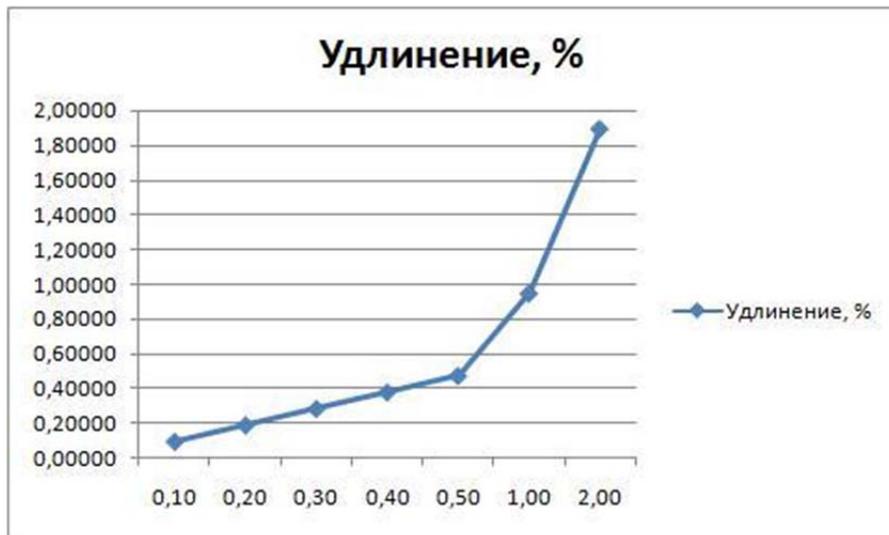


Рисунок 4 – Зависимость относительного удлинения от давления воды в трубопроводе

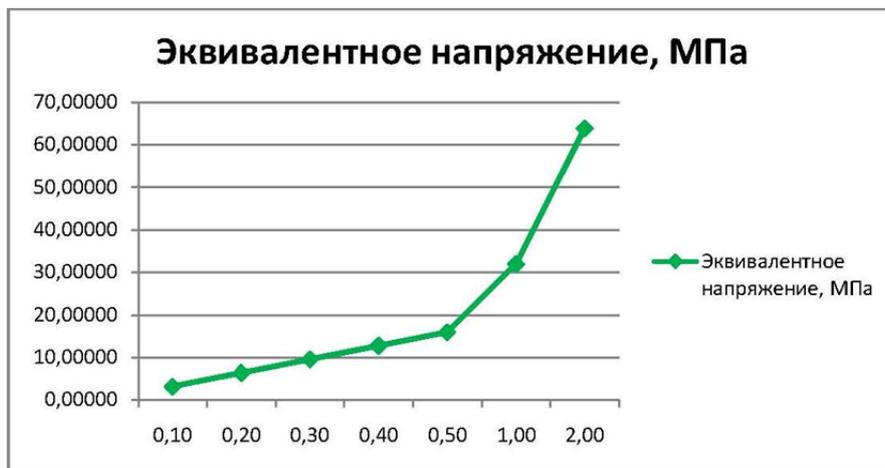


Рисунок 5 – Зависимость эквивалентного напряжения от давления воды в трубопроводе

Диаграмма распределения эквивалентных напряжений для случая давления воды в трубопроводе, равного 2 МПа, представлена на рисунке 6. Данная диаграмма позволяет выявить наиболее критичные (склонные к деформации и разрыву) зоны рассматриваемой модели.

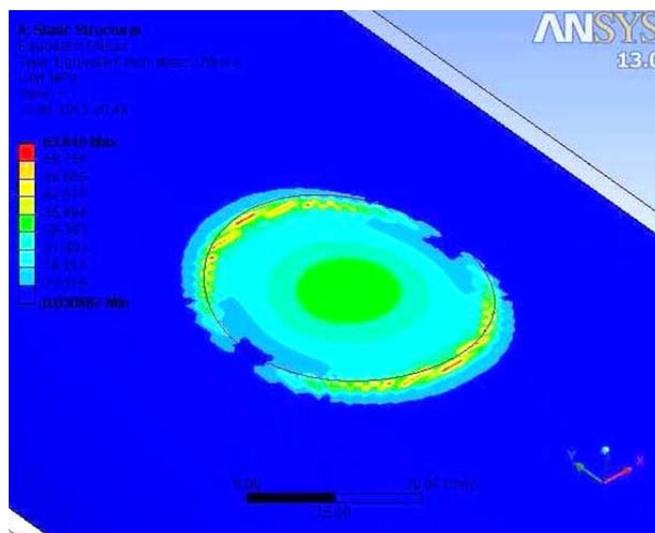


Рисунок 6 – Диаграмма распределения эквивалентных напряжений при давлении 2 МПа

По итогам представленного выше конечно-элементного анализа системы «стальной трубопровод-полимерный рукав» можно сформулировать следующие выводы:

1. Полимерный рукав является весьма эффективным средством при реализации бесстраншейной реновации трубопроводов с точки зрения обеспечения прочностных показателей восстанавливаемой конструкции. Проведенный расчёт показывает, что рукав толщиной 5 мм, способен обеспечить работу стального напорного трубопровода диаметром 300 мм при давлении 1 МПа (100 м вод.ст.);

2. Результаты расчёта позволяют построить и проанализировать графические зависимости основных прочностных показателей защитного полимерного рукава. Приведенные выше графические иллюстрации демонстрируют тенденцию падения критерия прочности с увеличением давления воды в трубопроводе, а так же одновременный рост напряжения и относительного удлинения полимерного рукава.

3. Из приведенных данных следует, что для исходных параметров трубопровода и полимерного рукава, разрыв полимерного рукава будет наблюдаться при давлении воды в трубе порядка 2 МПа. При данном значении давления показатель критерия прочности становится меньше 1.

4. На основании полученной диаграммы распределения эквивалентных напряжений можно утверждать, что критические зоны напряжений полимерного рукава находятся на границе зоны дефекта. В данных областях наблюдаются максимальные эквивалентные напряжения.

5. На основании полученных результатов можно констатировать, что представленная расчётная модель в целом позволяет определить наиболее вероятный путь реновации напорного трубопровода с точки зрения обеспечения прочностных показателей конструкции. Впоследствии модель может совершенствоваться (например, с добавлением нагрузки от воздействия грунта или близ расположенных сооружений), что позволит более точно исследовать динамику изменения параметров полимерного рукава, используемого для реновации ветхих трубопроводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азеев, А.А. Повышение производительности комплекса агрегатов для бесстраншейного ремонта трубопроводов способом комбинированного торообразного рукава [Текст] / А.А. Азеев // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Братск. – 2011. – 23 с.
2. Орлов, В.А. Защитные покрытия трубопроводов [Текст] / В.А. Орлов. – АСВ. – 2009. – 125 с.
3. Басов, К.А. Ansys в примерах и задачах [Текст] / К.А. Басов. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.
4. Огородникова, О.М. Статический конструкционный анализ в Ansys Workbench [Текст] / О.М. Огородникова. Лекция, 2004.

Аверкеев Илья Алексеевич

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Аспирант, ассистент кафедры «Водоснабжение»

E-mail: ilji4.msk@gmail.com

Орлов Владимир Александрович

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Водоснабжение»

E-mail: orlov950@yandex.ru

I. AVERKEEV, V. ORLOV

DURABILITY FACTOR IN APPLYING POLYMERIC HOSE FOR PROTECTION PRESSURE PIPELINE

A model of a steel pressure pipe with a defect and a protective polymer hose. Durability conducted to study the behavior of the system under different water pressure in the pipeline. Results are ob-

tained durability calculation that would reveal the effectiveness of the polymer hose as a method of renovating the discharge pipe from the point of view of the durability of the system.

Keywords: *polymer hose, steel pipe, the durability model of the system.*

BIBLIOGRAPHY

5. 1. Azeev, A.A. Povyshenie proizvoditel'nosti kompleksa agregatov dlja bestranshejnogo remonta truboprovodov sposobom kombinirovannogo toroobraznogo rukava [Tekst] / A.A. Azeev // Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk. – Bratsk. – 2011. – 23 s.
6. 2. Orlov, V.A. Zashhitnye pokrytija truboprovodov [Tekst] / V.A. Orlov. – ASV. – 2009. – 125 s.
7. 3. Basov, K.A. Ansys v primerah i zadachah [Tekst] / K.A. Basov. – M.: Komp'juterPress, 2002. – 224 s.
8. 4. Ogorodnikova, O.M. Sticheskiy konstrukcionnyj analiz v Ansys Workbench [Tekst] / O.M. Ogorodnikova. Lekcija, 2004.

I. Averkeev

Moscow state university of civil engineering, Moscow
Postgraduate student, «Water supply» department assistant
E-mail: ilji4.msk@gmail.com

V. Orlov

Moscow state university of civil engineering, Moscow
Doctor of technical science, professor of the department «Water supply»
E-mail: orlov950@yandex.ru

ПЛОТНИКОВ В.В.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПУТЕМ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА АКТИВИРОВАННЫМИ КРИСТАЛЛОГИДРАТАМИ НА ОСНОВЕ НЕФЕЛИНОВОГО ШЛАМА

В статье представлены результаты исследований строительно-технических свойств железобетонных конструкций, изготовленных с использованием цементных бетонов, модифицированных активированными кристаллогидратами на основе нефелинового шлама. Установлено, что модифицирование бетона позволяет значительно повысить долговечность и эксплуатационные свойства железобетонных конструкций.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, бетон, активированные наноструктуры, нефелиновый шлам, долговечность.

Несмотря на появление большого количества новых вяжущих композиционных материалов, бетон на основе портландцемента остается по-прежнему основным материалом для производства железобетонных конструкций. В то же время значительно возросли требования к железобетону у архитекторов и конструкторов для реализации новых уникальных проектов зданий и сооружений. Особые требования предъявляются не только к прочностным и другим строительно-техническим показателям бетона, но и к его долговечности и способности сохранять свои свойства в течение продолжительного времени.

Нами проведены исследования по повышению долговечности железобетонных конструкций, в том числе эксплуатирующихся и в неблагоприятных условиях, путем направленного структурообразования цементного бетона различными модификаторами.

Известно, что для целенаправленного влияния на процессы структурообразования цементных композиций, приводящие к повышению как ранней, так и поздней прочности бетона, модификаторы должны обладать следующими свойствами:

- быть кристаллохимическим аналогом основных продуктов гидратации портландцемента;
- иметь развитую, энергетически насыщенную поверхность, обладающую большой адсорбционной способностью по отношению к ионам, насыщающим жидкую фазу твердеющего цемента;
- способствовать в результате создания локальных пересыщений образованию зародышей кристаллов и прочных кристаллических сростков, устойчивых против перекристаллизации в процессе твердения бетона.

Проведенные нами ранее исследования показали, что активированные кристаллогидраты, полученные на основе белита (C_2S), обладают перечисленными выше свойствами, однако не представляется возможным их получение в связи с дороговизной производства C_2S [1, 2, 3]. Поэтому целью дальнейших исследований являлось изыскание промышленного отхода или попутного продукта, содержащего минерал C_2S в большом количестве.

При комплексной переработке нефелинов, в результате которой выпускаются глинозем (перерабатываемый в дальнейшем в металлический алюминий), сода и другие виды щелочей, получается нефелиновый шлам, содержащий примерно 80% частично гидратированного двухкальциевого силиката. В нефелиновом шламе имеются также небольшие количества трехкальциевого гидроалюмината, алюмосиликатов кальция и натрия.

Активированные наноструктуры готовились путем гидратации нефелинового шлама в специальных установках для активации вяжущих на базе роторно-пульсационных аппаратов при $V/T= 5-10$ до степени гидратации C_2S ($d=1,87 \text{ \AA}$) – 70-80%.

Роторно-пульсационные аппараты (РПА) сочетают в себе принципы работы дисмембраторов, дезинтеграторов, коллоидных мельниц и центробежных насосов. Рабочие элементы таких устройств, как правило, представляют собой два или более комплекта полых коаксиальных цилиндров (конусов или дисков) с отверстиями или прорезями различной формы. При вращении одного набора цилиндров относительно другого или при вращении обоих наборов в противоположных направлениях происходит быстрое чередование совмещения и несовмещения прорезей, что влечет за собой синхронное изменение скорости движения обрабатываемой среды через прорези, т. е. возникновение пульсирующего с большой частотой жидкостного потока. В результате обрабатываемая среда подвергается воздействию больших напряжений сдвига, возникающих в узких радиальных зазорах между вращающимися и неподвижными цилиндрами вследствие значительных градиентов скорости, гидравлическим ударам, кавитации, мелкомасштабной пульсации в широком диапазоне частот. Перечисленные факторы в сочетании с интенсивными механическими воздействиями значительно повышают скорость технологических процессов в жидких гомогенных и гетерогенных системах. Максимальная интенсификация массообмена, растворения других подобных процессов достигается в развитом турбулентном потоке при воздействии мелкомасштабной пульсации среды и обработке материала в микрообъемах. Вся подводимая к аппарату энергия, за исключением незначительных потерь в подшипниках и уплотнении, используется для создания высокоимпульсных гидродинамических потоков и обработки материала в небольшой вихревой рабочей камере. При этом интенсивность обработки, характеризуемая затратами объемной мощности в рабочем пространстве аппарата, составляет 3-5 МВт/м³, что в 2-3 раза выше, чем в емкостных аппаратах с перемешивающими устройствами. Эффективность работы РПА при измельчении и активации строительных материалов зависит от целого ряда факторов – потребляемой мощности, расхода и напора смеси, геометрических параметров рабочих органов, скорости вращения ротора и его диаметра и т. п.

В результате обработки в РПА нефелинового шлама была получена добавка – модификатор, состоящая из мельчайших частиц размером менее 0,01 мкм и нитевидных кристаллов, состоящих в основном из гидросиликатов кальция длиной до 10-15 мкм (рис. 1). Активированные кристаллогидраты имеют развитую удельную поверхность – 80-90 м²/кг (по БЭТ) и характеризуются высокой степенью конденсации кремнекислородных анионов, которая приближалась к степени конденсации полицепочечных силикатных анионов.

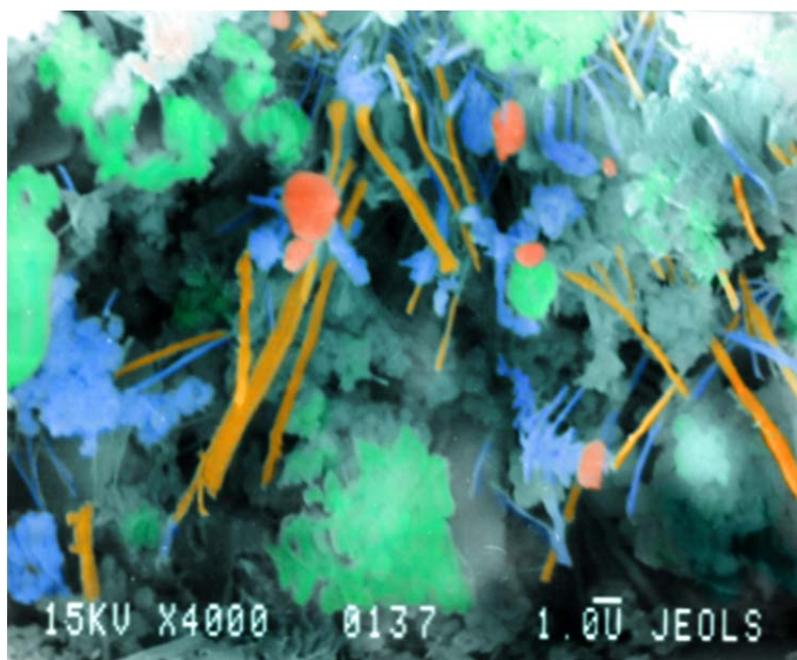


Рисунок 2 – Общий вид активированных кристаллогидратов, полученных на основе нефелинового шлама

Нами установлено, что при введении активированных кристаллогидратов в цемент происходит быстрая адсорбция ионов Ca^{2+} , OH^- , SO_4^{2-} на их активных центрах. Концентрация адсорбированных ионов в местах с наиболее дефектной структурой и энергетически ненасыщенной поверхностью значительно превышает концентрацию ионов в жидкой фазе твердеющего цемента. Это создает условия для образования многочисленных центров кристаллизации при относительно невысоком общем пересыщении раствора (рис. 2), что значительно ускоряет твердение цементного камня.

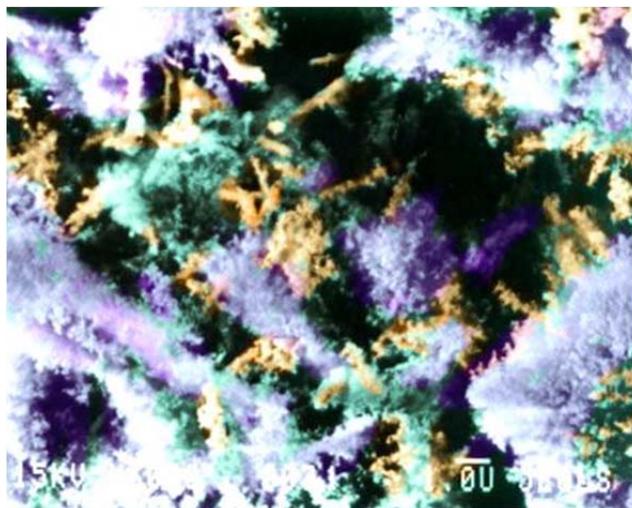


Рисунок 3 – Влияние активированных кристаллогидратов на начальную стадию гидратации цемента

В целях изучения влияния добавки активированных кристаллогидратов, полученных на основе нефелинового шлама, на гидратацию и твердение цементов изготавливались образцы размером $4 \times 4 \times 16$ см из цементного теста с В/Ц=0,5. Активированные кристаллогидраты вводились в цемент на основе клинкера Воскресенского цементного завода в количестве 2, 3 и 5 мас.%. Результаты испытаний образцов из цементного камня на прочность приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Прочность образцов размером $4 \times 4 \times 16$ см из цементного камня с включением активированного нефелинового шлама

№ п/п	Вид цемента	Количество добавки, мас. %	Предел прочности, МПа							
			при изгибе, в возрасте, сут.				при сжатии, в возрасте, сут.			
			1	3	7	28	1	3	7	28
1.	Воскресенский портландцемент М 400	0	8	26	44	75	27	95	152	360
2.	- " -	2	18	34	57	83	86	186	280	470
3.	- " -	3	22	38	62	87	125	235	344	530
4.	- " -	5	27	41	67	90	140	275	405	580

Анализ полученных данных показал, что увеличение концентрации вводимой добавки значительно повышает прочность образцов при сжатии и изгибе. В первые сутки твердения прочность образцов с активированными кристаллогидратами в количестве 5 мас. % возросла при изгибе в 3,37 раза, при сжатии в – 5,1 раза.

Отличительной особенностью образцов с активированными кристаллогидратами, полученными на основе нефелинового шлама, от образцов с добавками, полученными на основе C_3A , C_4AF , C_3S и цемента, является равномерный рост прочности и в поздние сроки твердения как при сжатии, так и при изгибе.

Повышение прочности образцов при изгибе на 20% и при сжатии на 61% через 28 сут. твердения при одинаковой степени гидратации цемента с контрольными образцами (табл. 2),

свидетельствуют об определяющей роли в увеличении прочности системы в целом образовавшихся на ранних стадиях высокопрочных, устойчивых к перекристаллизации гидросиликатов кальция.

Таблица 2 – Степень гидратации и общая пористость образцов из цемента с добавкой активированного нефелинового шлама

№	Вид цемента	Количество вводимой в цемент добавки, мас. %	Степень гидратации в возрасте, сут.		Общее количество пор размером 1-10000 нм. м ³ /кг×10 ⁻³ в возрасте, сут.	
			1	28	3	28
1.	Портландцемент М 400	–	32	64	0,92	0,462
2.	- “ -	2	34	65	0,81	0,221
3.	- “ -	5	35	66	0,78	0,169

Исследование фазового состава гидратных новообразований, возникающих при твердении портландцементов, проведенное методами рентгеновского и дифференциально-термического анализов, показало, что при введении активированных кристаллогидратов фазовый состав цементного камня в возрасте 3 и 28 сут. практически не меняется.

С увеличением времени твердения на рентгенограммах цементного камня с добавкой активированных кристаллогидратов по сравнению с рентгенограммами бездобавочного цемента наблюдается значительно меньшая интенсивность линий с $d=4,93; 2,62; 1,93 \text{ \AA}$ и других, соответствующих гидроксиду кальция. При анализе кривых ДТА также обнаружено, что введение активированных кристаллогидратов в портландцемент вызывает уменьшение эндоэффекта с максимумом при 530С, соответствующего дегидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, небольшое увеличение эндоэффектов с максимумами при 200С и 788С, относящихся к различным типам гидросиликатов кальция.

Цементный камень без модификатора содержит через 28 сут. твердения большое количество крупных кристаллов портландита (рис. 4).

Данные электронномикроскопических исследований показали значительное уменьшение количества кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне с активированными кристаллогидратами, приготовленными на основе нефелинового шлама (рис. 5). При электронно-микроскопическом исследовании микроструктуры цементного камня с 5 мас.% активированных кристаллогидратов через 28 сут. твердения не обнаружено крупных кристаллов портландита. Продукты гидратации в этих образцах представлены в основном мелкими кристаллами гидросиликатов кальция чешуйчатой формы, имеющих большое количество контактов (рис. 5, в, г).

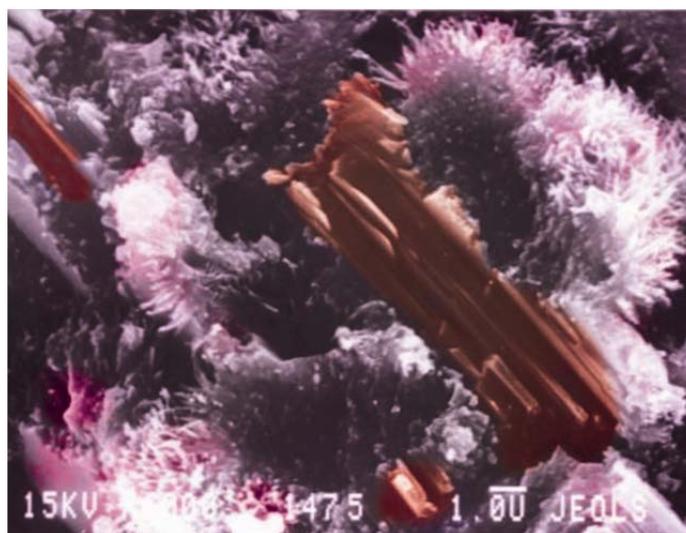


Рисунок 4 – Крупные кристаллы портландита в обычном цементном камне

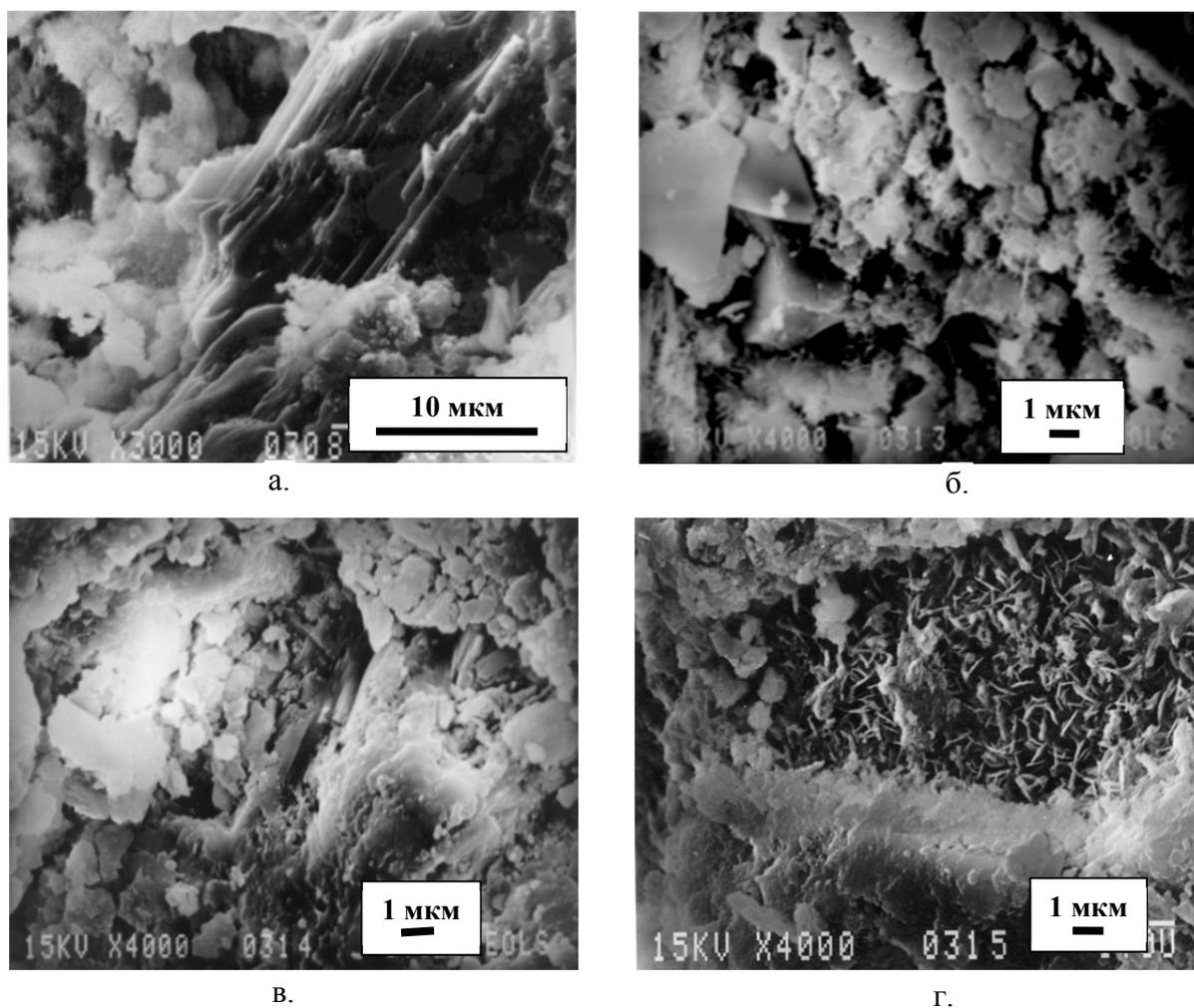


Рисунок 5 – Микроструктура цементного камня без добавок (а, б) и с включением 5 мас.% активированных кристаллогидратов, полученных на основе нефелинового шлама (в, г), 28 сут. твердения.

Уменьшение в образцах с добавкой активированных кристаллогидратов гидроксида кальция – наиболее растворимого и химически активного, а, следовательно, и уязвимого продукта гидратации цемента, определяет устойчивость цементного камня ко всем видам химической коррозии, что в значительной степени и определяет долговечность железобетонных изделий.

Получение высокопрочных бетонов для железобетонных конструкций. Для приготовления бетонных смесей для производства бетонных изделий использовали цемент М 500 Михайловского цементного завода, фракционированный гранитный щебень фракцией 5-20 мм и Др8, песок с $M_{кр}=2,35$ и пустотностью 34%. Заполнители перед использованием промывались водой. Активация цемента осуществлялась при В/Ц=0,3 в течение 1 мин с добавкой суперпластификатора С-3 в количестве 0,7% от массы цемента. При активации цемента вводились в количестве 5% от массы цемента кристаллогидраты, полученные на основе нефелинового шлама. Расход материалов и результаты испытания полученных бетонов на прочность приведены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 следует, что активация цемента при В/Ц=0,3 с добавкой суперпластификаторов позволяет получать бетонные смеси хорошей подвижности с осадкой конуса 1-2 см, обычно характерной для бетонных смесей с В/Ц=0,5-0,7, приготовленных для низкопрочных бетонов.

Таблица 3 – Прочность при сжатии образцов размером 15×15×15 см из бетона на основе активированного цемента, В/Ц=0,3

Время активации, мин	Расход материалов на 1 м ³ смеси, кг					Осадка конуса, см	Предел прочности образцов при сжатии, МПа в возрасте					
	Цемент	Песок	Щебень	Вода	Модификатор		3 сут.	7 сут.	14 сут.	28 сут.	1 год	3 года
0	520	520	1200	165	-	2,0	42,0	61,5	67,5	71,0	78,0	89,0
2	520	520	1200	165	-	1,5	50,0	68,0	75,0	80,0	86,0	96,0
2	520	520	1200	157	26	1,5	58,0	81,0	90,0	100,0	106,0	110,0

Проведенные исследования позволили установить, что предварительная активация рядовых цементов в водной среде при пониженных значениях В/Ц с добавкой суперпластификаторов и активированных кристаллогидратов позволяет получать высокопрочные бетоны М 800-1000.

Водопроницаемость бетона. Влияние предварительной активации цементного теста на водопроницаемость бетона при плотном заполнителе оценивали по изменению коэффициента фильтрации. Повышение плотности цементного камня и уменьшение в нем количества капиллярных пор оказывает существенное влияние на формирование структуры бетона и способствует снижению коэффициента фильтрации более чем в 2 раза. Это значительно повышает эксплуатационные характеристики бетона и расширяет область его использования.

Морозостойкость бетона. Оценку морозостойкости бетона различного состава (табл. 4) проводили в соответствии с ГОСТ 10060.0-95 – 10060.4-95 попеременным замораживанием до температуры 15-20°С и оттаиванием образцов при температуре 15-20°С. Морозостойкость определяли по изменению прочностных свойств и визуальным осмотром образцов (табл. 5).

Результаты испытания показали, что предварительная активация цемента совместно с модификатором повышает морозостойкость бетона, что можно объяснить увеличением объема замкнутых пор, уменьшением объема «неморозостойких пор» размером $10^3 \text{ нм} > r > 10^2 \text{ нм}$.

Таблица 4 – Характеристика бетонов, испытанных на морозостойкость

№ состава	Расход материалов на 1 м ³ смеси, кг					Вид обработки цементного теста	Предел прочности при сжатии, МПа к началу испытаний
	цемент	песок	щебень	неф. сусп	вода		
1.	290	684	1196	-	201	без обработки	16,8
2.	290	704	1196	201	-	без обработки	28,0

Таблица 5 – Морозостойкость бетонных образцов

№ состава	Мрз, циклы	Предел прочности при сжатии, МПа		K _{мрз}	Мрз, циклы	Предел прочности при сжатии, МПа		K _{мрз}
		замораживание	контр. в эквивалентном возрасте			Замораживание	Контр. в эквивалентном возрасте	
1.	75	17,3	19,8	0,87	100	18,4	21,9	0,84
2.	100	29,4	33,0	0,89	100	30,7	36,1	0,85

Сульфатостойкость бетона. Для выявления влияния модификатора на основе нефелинового шлама на сульфатостойкость бетона, изготавливали образцы-балочки размером 4×4×16 см из раствора 1:3 с нормальным вольским песком, часть из которых выдерживали в течение 6

месяцев в питьевой воде, а часть в агрессивном растворе с концентрацией ионов SO_4^{2-} 3000 мг/л и 5000 мг/л. По истечению указанного срока образцы испытывали на прочность при изгибе и определяли коэффициент стойкости $K_{ст}$ путем деления величины среднего предела прочности при изгибе образцов на основе активированного цементного теста, хранившихся в агрессивном растворе, на величину среднего предела прочности при изгибе контрольных образцов, хранившихся в питьевой воде.

Результаты испытаний показали (табл. 6.) значительное повышение коэффициента стойкости $K_{ст}$ у образцов на основе портландцемента М 400 с 5 мас.% активированного нефелинового шлама, что связано, по-видимому, с уменьшением пористости образцов и снижением содержания гидроксида кальция в системе.

Таким образом, приготовление бетонов с использованием предварительной гидродинамической активации цемента совместно с модификатором на основе нефелинового шлама позволяет применять их в конструкциях, эксплуатирующихся в водной среде или сильно фильтрующих грунтах.

Таблица 6 – Сульфатостойкость бетонных образцов

№	Вид цемента	Время активации, мин.	Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа и коэффициент стойкости при концентрации ионов в растворе				
			2,5 мг/л		3000 мг/л		5000 мг/л
			$R_{изг}$	$R_{изг}$	$K_{ст}$	$R_{изг}$	$K_{ст}$
1.	Портландцемент М 400		5,7	5,2	0,91	4,9	0,85
2.	Портландцемент М 400 с модификатором			7,3	1,28	6,9	1,21

Таким образом, уменьшение водопроницаемости и повышение прочности, морозостойкости и сульфатостойкости бетонов на основе активированных и модифицированных в жидкой среде цемента свидетельствуют также и о повышении их долговечности.

Заключение

Проведенные исследования показали, что активированные кристаллогидраты на основе нефелинового шлама и ПАВ различной природы в совокупности с регулированием условий гидродинамической активации позволяют с самого начала затворения цемента водой управлять стадиями его структурообразования с целью повышения эксплуатационных свойств бетонных и железобетонных конструкций.

Активированные кристаллогидраты, полученные на основе нефелинового шлама, являются высокоэффективным модификатором структуры цементного камня и позволяют не только интенсифицировать процессы твердения бетона, но и в значительной степени повысить его долговечность и строительно-технические свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плотников, В.В. Интенсивная ресурсосберегающая технология монолитного бетона [Текст] / В.В. Плотников. – Брянск: Грани, 1997. – 112 с.
2. Плотников, В.В. Активированные микро- и наноструктуры для синтеза цементных композиционных материалов [Текст] / В.В. Плотников. – Брянск: БГИТА, 2009. – 185 с.
3. Баженов, Ю.М. Активация вяжущих композиций в роторно-пульсационных аппаратах [Текст] / Ю.М. Баженов, В.В. Плотников. – Брянск: БГИТА, 2001. – 336 с.

Плотников Валерий Викторович

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
 Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство»
 E-mail: plotn57@mail.ru

V. PLOTNIKOV

**INCREASE DURABILITY OF FERROCONCRETE
CONSTRUCTIONS BY MODIFICATION OF CEMENT
CONCRETE WITH ACTIVATED CRYSTALLOHYDRATES
ON THE BASIS OF NEPHELINE SLUDGE**

Article presents the results of research construction and technical properties of the reinforced concrete constructions produced using cement concrete which modified with activated crystallohydrates on the basis of nepheline sludge.

Keywords: *ferroconcrete construction, concrete, activated nanostructures, nepheline sludge, durability.*

BIBLIOGRAPHY

1. Plotnikov, V.V. Intensivnaja resursosberegajushhaja tehnologija monolitnogo betona [Tekst] / V.V. Plotnikov. – Brjansk: Grani, 1997. – 112 s.
2. Plotnikov, V.V. Aktivirovannye mikro- i nanostrukturny dlja sinteza cementnyh kompozicionnyh materialov [Tekst] / V.V. Plotnikov. – Brjansk: BGITA, 2009. – 185 s.
3. Bazhenov, Ju.M. Aktivacija vjzhashhijh kompozicij v roturno-pul'sacionnyh apparatah [Tekst] / Ju.M. Bazhenov, V.V. Plotnikov. – Brjansk: BGITA, 2001. – 336 s.

V. Plotnikov

Bryansk state engineering-technological academy, Bryansk

Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Building production»

E-mail: plotn57@mail.ru

СОЛОМЕНЦЕВ А.Б., КУЛИКОВА А.В., БУХТИЯРОВ С.В.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ДОРОЖНОГО БИТУМА С РАЗЛИЧНЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ И АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО НА ЕГО ОСНОВЕ

Охарактеризованы три группы полимерных добавок: на основе синтетических восков, термопласты и термоэластопласты. Приведены сведения об используемых полимерных добавках, определено время их распределения в дорожном битуме, сцепление битума с добавками с кислыми горными породами. Определена динамическая вязкость битума с полимерными добавками при различных температурах. Определены физико-механические показатели и уплотняемость асфальтовяжущего с различными полимерными добавками. Установлено, что введение добавок на основе синтетических восков улучшает уплотняемость асфальтовяжущего при пониженных температурах.

Ключевые слова: дорожные битумы, асфальтобетон, воски синтетические, термопласты, термоэластопласты, асфальтовяжущее, теплые асфальтобетонные смеси, уплотняемость асфальтовяжущего.

Влияние полимерных добавок на битумы, т.е. их функциональное назначение, проявляется в увеличении температуры размягчения, вязкости, в снижении температуры хрупкости. Термоэластопласты увеличивают эластичность битума и снижают трещиностойкость асфальтобетона, синтетические воски снижают температуру перехода битума в хрупкое состояние и позволяют производить уплотнение асфальтобетона при пониженных температурах воздуха. Важными показателями являются также растворимость добавок в битуме, сцепление битума с добавками с кислыми горными породами, характер изменения вязкости битума с добавками при различных температурах, оценка уплотняемости асфальтобетона на битуме с полимерными добавками.

Оценка свойств битума с добавками и уплотняемости асфальтовяжущего осуществлялась для трех групп полимерных добавок, а именно: добавок на основе синтетических восков, термопластов (полиолефины и вторичный полиэтилен), дивинилстирольных термоэластопластов.

Воски полностью синтетические получают действием водорода на окись углерода по реакции Фишера-Тропша [1]. Образующиеся продукты состоят главным образом из высших алканов (предельных углеводородов). Широкое применение также находят синтетические воски, состоящие из смеси полиолефинов (алкатыны, виннотены, луполены) с молекулярной массой от 2000 до 10 000, степенью кристалличности от 10 до 85%, плотностью от 0,9 до 0,94 г/см³, вязкостью расплава при 140°С от 850 до 10 000 сПз [1]. В зависимости от молекулярной массы и кристалличности эти синтетические воски могут находиться в различном агрегатном состоянии (от жидкого до твердого). В последние годы добавки для дорожных битумов, содержащие жидкие парафины (предельные углеводороды) и синтетические воски в твердом состоянии применяются для получения теплых асфальтобетонных смесей с целью снижения температуры перемешивания, укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей, а также для повышения удобоукладываемости литых асфальтобетонных смесей [2, 3].

Добавка Honeywell Titan 7686 производится компанией Honeywell (США) и представляет собой окисленный полиэтилен низкого давления с молекулярной массой 5 000-15 000, внешний вид – порошок средней крупности белого цвета, температура размягчения – 115-140°С, плотность – 0,9 г/см³, рекомендуемая дозировка – 0,8-3,0% от массы битума (здесь и далее сведения о добавках приводятся из информационных материалов и презентаций компаний-производителей). Добавка Rediset WMX производится компанией AkzoNobel (Швеция) и

состоит на 30-60% из трис (2-гидроксиэтила) гидрогенизированного *N*-алкилдиаминпропана животного жира и на 20% из парафинового и углеводородного воска. По внешнему виду это гранулы от светло- до темно-коричневого цвета полусфероидальной (чешуеобразной) формы, температура размягчения 80-95°C, рекомендуемая дозировка – 1,0-2,0% от массы битума. Добавка Palmowax производится компанией KLK OLEO (Малайзия) и представляет собой этилен бис стеарамид (EBS), *N,N'*-этилен (стеарамид), с содержанием амида больше 96% и температурой плавления больше или равной 140°C, рекомендуемая дозировка 0,2-4,5%.

Группу термопластов (полиолефины и вторичный полиэтилен) представляют полимерные добавки РТЭП и Superplast. Полиолефины – продукты полимеризации непредельных углеводородов олефинового ряда (этилен, пропилен, бутилен и др.) [4]. Молекулы полиолефинов – это обычно длинные линейные цепи с небольшим количеством коротких и длинных боковых ответвлений. В [5] приводится более точное определение полиолефинов: олефинов полимеры – высокомолекулярные соединения, образующиеся при гомо- или сополимеризации олефинов. Существенным недостатком олефинов полимеров является плохая адгезия, обусловленная отсутствием полярных групп, и сравнительно невысокая жесткость, из-за которой ограничивается применение этих полимеров как конструкционных материалов [5]. Все представители полиолефинов – термопластичные линейные полимеры с плотностью при 20°C ниже 1 г/см³, наиболее тугоплавкий полимер – полиэтилен, наименее тугоплавкий – изотактический полипропилен. Их применение в асфальтобетоне представляет значительные трудности в обеспечении гомогенности системы при технологических температурах [6]. Эти полимеры не имеют двойных связей, следовательно, они устойчивы против старения. Они трудно диспергируются в битуме. Полиолефины характеризуются низкой реакционной способностью, они не вступают в реакцию с битумами [6]. После введения в битум и перемешивания они образуют дисперсию. Смесь битума с полимером очень нестабильна.

Добавка РТЭП производится компанией «Дор ТрансНИИ РГСУ» (Россия) и представляет собой многокомпонентную композицию на основе полиолефинового полимерного носителя, содержащую битум. По внешнему виду это гранулы черного цвета произвольной формы размером 2-6 мм (допускается пористость), температура размягчения не выше 140°C, рекомендуемая дозировка – 0,35% от массы минеральной части асфальтобетона или 5-6% от массы битума. Добавка Superplast производится компанией ITERNIMICA (Италия) и представляет собой смесь переработанных из вторичного сырья полимеров этилена. По внешнему виду это гранулы серого цвета цилиндрической формы диаметром 3 мм и длиной около 4 мм, температура размягчения составляет 130-150°C, рекомендуемая дозировка – 4,0-8,0% от массы битума.

Третью группу дивинилстирольных термоэластопластов представляют полимерные добавки ДСТ-30-01 и Kibiton РВ-5301. Термоэластопласты (термопластичные эластомеры) представляют собой полимерные материалы, которые в условиях эксплуатации способны, подобно эластомерам, к большим обратимым деформациям, а при повышенных температурах, в частности при переработке в изделия, текут подобно термопластам [7]. Термоэластопласты представляют собой блоксополимеры типов АВА и (АВ)_n, где А – жесткие блоки термопластов (например, полистирольные, полиэтиленовые, полипропиленовые, полиакриловые), В – гибкие эластомерные блоки (например, полибутадиеновые, полиизопреновые, сополимерные – бутадиен-стирольные, изопрен-стирольные, этилен-пропиленовые).

Добавка ДСТ-30-01 производится ОАО «Воронежсинтезкаучук» (Россия) и представляет собой линейный блоксополимер на основе стирола и бутадиена с содержанием связанного стирола 30% по массе. По внешнему виду это гранулы или порошок от белого до светло-бежевого цвета, показатель текучести расплава (при температуре 190°C и нагрузке 5 кгс) менее 1 г/10 мин, плотность 0,93 г/см³, молекулярная масса от 60 000 до 90 000. Добавка Kibiton РВ-5301 производится компанией СНИ МЕІ (Тайвань) и представляет собой сополимер на основе стирола и бутадиена. По внешнему виду это пористые гранулы белого цвета, показатель текучести расплава (при 200°C и нагрузке 5 кгс) менее 0,5 г/10 мин, плотность – 0,94 г/см³.

В таблице 1 приведены данные по времени распределения добавок в битуме (при распределении их вручную) и по сцеплению ПБВ с кислым минеральным материалом. Добавки синтетических восков быстро и легко, за 5-10 минут, распределяется в битуме, РТЭП за 4 часа, Superplast за 12 часов, ДСТ-30-01 и Kibiton PB-5301 за 6 часов. Следует отметить, что процесс взаимодействия термопластичных добавок РТЭП и Superplast с битумом при их перемешивании при температуре 160°C заключается в их расплавлении и механическом распределении в объеме жидкого битума. После прекращения перемешивания на поверхности битума образуется высоковязкий расплавленный полимерный слой. Это объясняется более низкой плотностью полиолефинов. Взаимодействия между компонентами битума и макромолекулами и надмолекулярными образованиями полимеров полиолефинов слабые, битум как бы «выталкивает» полимерную фазу на поверхность. Поэтому на практике гранулированные добавки на основе полиолефинов вводятся не в битум, а в приготавливаемую асфальтобетонную смесь с использованием технологической линии подачи стабилизирующих добавок [8].

Таблица 1 – Время распределения полимерных добавок в битуме и сцепление ПБВ с кислым минеральным материалом

№ п/п	Наименование материала	Расход в битуме, % от массы битума	Время распределения полимера в битуме	Показатель сцепления, соответствие контрольному образцу по ГОСТ 11508-74
1	БНД 60/90	--	--	По образцу 3
2	Honeywell Titan 7686	1,5	8-10 минут	2 →1
3	Rediset WMX	1,5	10 минут	По образцу 3
4	Palmowax	1,5	5-6 минут	По образцу 3 (почти полное отслаивание)
5	РТЭП	5,5	4 часа	По образцу 3
6	Superplast	5,0	12 часов	По образцу 3
7	ДСТ-30-01	3,5	6 часов	По образцу 3
8	Kibiton PB-5301	3,5	6 часов	По образцу 3

Как видно из таблицы 1, добавка Honeywell TITAN 7686 улучшает сцепление, наблюдается почти полное покрытие образца после кипячения, Rediset WMX не улучшает, а Palmowax ухудшает. Термопласты и термоэластопласты также не улучшают сцепления. Как отмечается в работе [9], в последние годы окисление все шире используется в качестве метода модифицирования полиолефинов. Окисление при нагревании позволяет вводить в состав полиэтилена кислородсодержащие группы, основную долю которых составляют карбонильные, гидроперекисные и эфирные группы. Окисление под действием ионизирующих излучений [9] используется для повышения адгезионной способности полиэтилена. Условия процесса облучения могут быть подобраны таким образом, что значительное повышение адгезии в результате образования в поверхностном слое полярных кислородсодержащих групп достигается практически при сохранении остальных свойств полимера.

Изменения надмолекулярной структуры в результате окисления расплава линейного полимера исследовали Бальтенас и Бальтене [9]. Уже незначительные химические превращения в расплаве приводят к существенным изменениям надмолекулярной структуры в охлажденном после окисления полимере. Продолжение окисления, сопровождающееся сшиванием макроцепей (в основном кислородсодержащими мостиками) и накопление труднокристаллизующихся продуктов окисления, приводит ко все большей аморфизации полиэтилена.

Для изучения реологических свойств дорожного битума с добавками использовался программируемый ротационный вискозиметр BROOKFIELD RVDV-II+PRO. Данный виско-

зиметр производится в США фирмой «Brookfield Engineering Laboratories, Inc» и разрешен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии к применению на территории России (свидетельство об утверждении типа средств измерений US. С. 31.010.А №42723). Для проведения измерений с дорожным битумом для задания и поддержания требуемой температуры использовалась термоячейка Thermosel со шпинделями SC4-21 и SC4-29 [10].

В таблице 2 приведена динамическая вязкость битума с добавками при температурах от 160 до 70°C в сравнении с битумом без добавок. На рисунке 1 приведены значения динамической вязкости дорожного битума с вышерассмотренными добавками при температурах от 160 до 70°C. Из таблицы 2, а также из рисунка 1 видно, что добавки Rediset WMX и Palmowax не существенно влияют на динамическую вязкость битума, в большей степени влияет добавка Honeywell Titan 7686 (увеличение вязкости в 1,2-2,3 раза), термопласты РТЭП и Superplast увеличивают вязкость битума в 4,6-9,2 раза. Добавки ДСТ-30-01 и Kibiton PB-5301 по увеличению вязкости занимают промежуточное положение между восками и термопластами. Графической иллюстрацией данных по вязкости является приведенные на рисунке 2 значения динамической вязкости битума с полимерными добавками при 160°C, на рисунке 3 – при 110°C, на рисунке 4 – при 70°C.

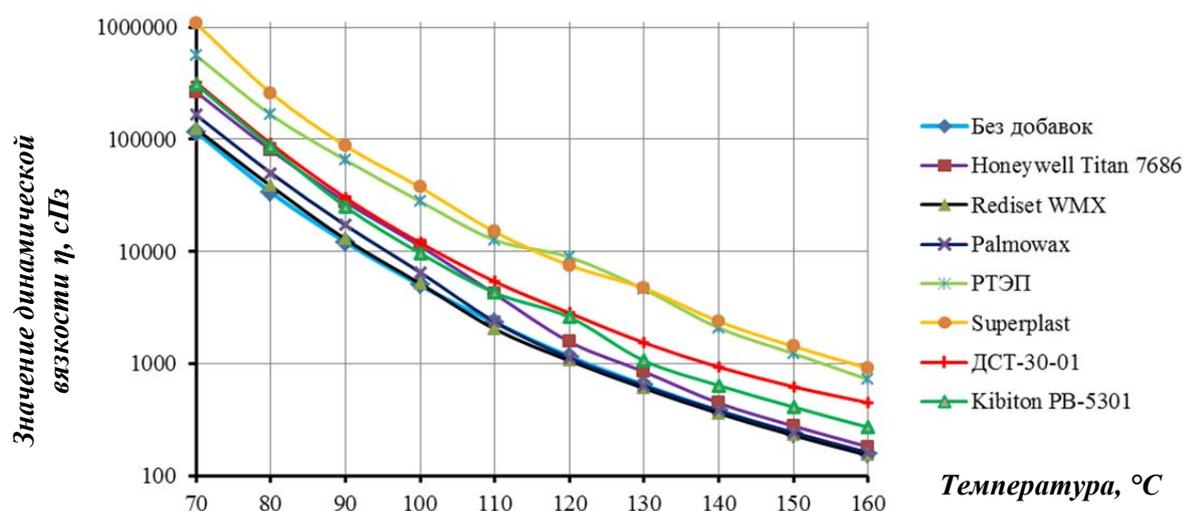


Рисунок 1 – Динамическая вязкость битума с полимерными добавками при различных температурах

Таблица 2 – Динамическая вязкость битума с полимерными добавками при различных температурах

№ п/п	Наименование и количество добавки в битуме, % от массы битума	Значение динамической вязкости, сПз, при заданной температуре, °C									
		160	150	140	130	120	110	100	90	80	70
1	Без добавок	157	240	380	645	1160	2320	5013	12200	33800	117000
2	Honeywell Titan 7686	182	279	447	850	1570	4192	11200	27767	80500	265000
3	Rediset WMX	153	230	361	603,3	1065	2040	5180	12900	38500	124000
4	Palmowax	161,5	244	380	633,3	1125	2370	6540	17220	50200	165000
5	РТЭП	725,7	1235	2090	4615	8930	12700	28000	65500	166000	559000
6	Superplast	914	1430	2385	4700	7550	15000	37500	87600	260000	1080000
7	ДСТ-30-01	450	625	935	1540	2833	5400	11983	30200	91500	321000
8	Kibiton PB-5301	272	412	640	1065	2600	4300	9700	25100	86000	308700

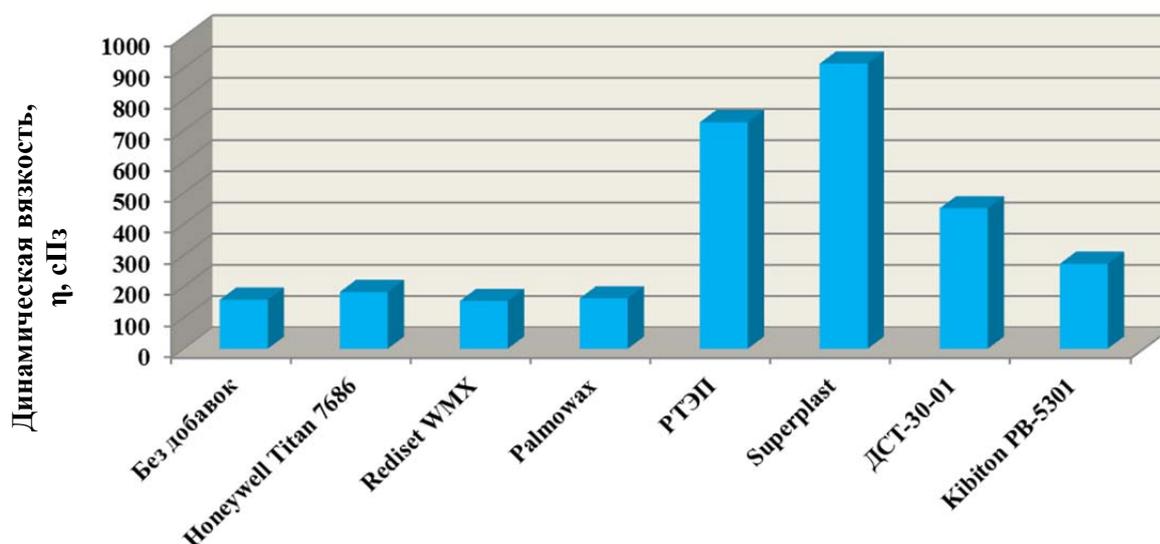


Рисунок 2 – Динамическая вязкость битума с полимерными добавками при 160°C

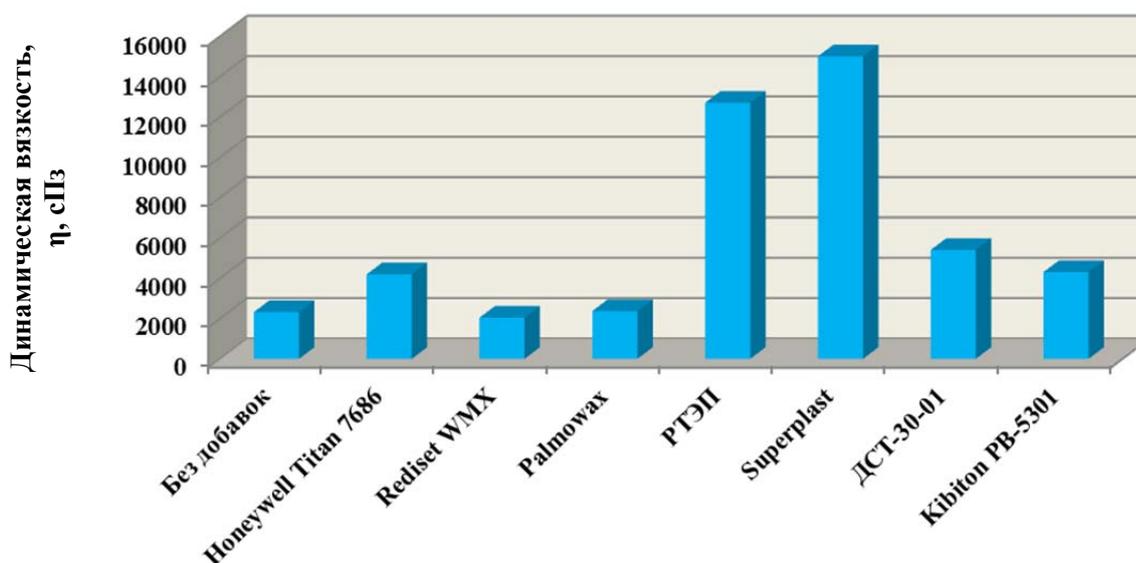


Рисунок 3 – Динамическая вязкость битума с полимерными добавками при 110°C

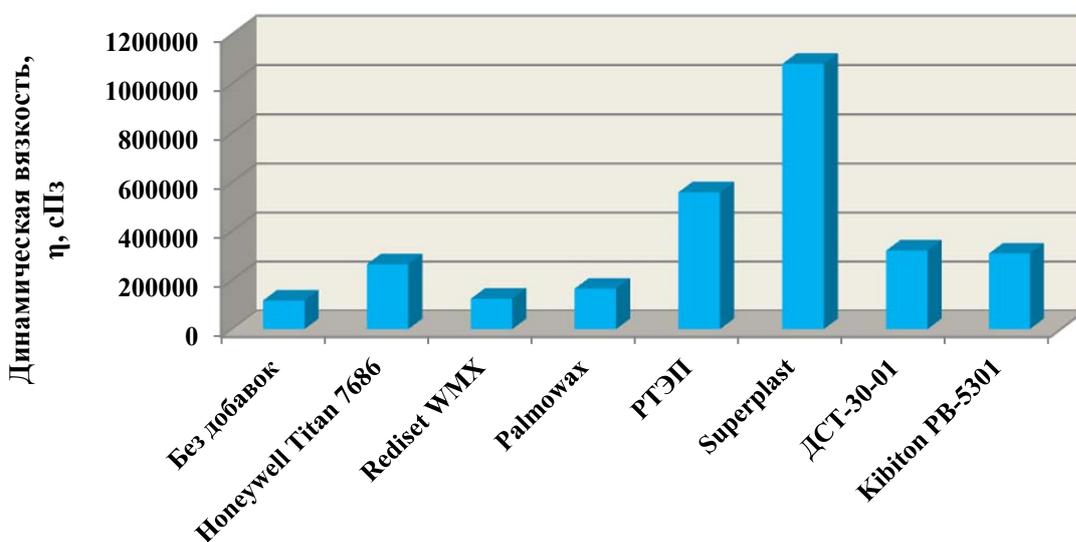


Рисунок 4 – Динамическая вязкость битума с полимерными добавками при 70°C

Уплотняемость теплых асфальтобетонных смесей можно оценить по методу И.В. Королева, в основу которого положен процесс деформации образца с циклическим нагружением [11]. В той же работе для оценки уплотняемости использовалась зависимость средней плотности асфальтобетона от температуры уплотнения. В работе [12] уплотняемость щебеночно-мастичной смеси на ПБВ с добавками для теплого асфальтобетона оценивалась с использованием гиратора-компактора.

Уплотняемость щебеночно-мастичной и других асфальтобетонных смесей определяется состоянием и свойствами битумной прослойки между зернами щебня и песка. В битумной прослойке битум с минеральным порошком образуют асфальтовяжущее, которое характеризует микроструктуру асфальтобетона, в том числе и щебеночно-мастичного. Поверхность минерального порошка составляет большую часть общей поверхности минеральной части асфальтобетонной смеси. Таким образом, на частицы минерального порошка приходится большая часть поверхностных взаимодействий с битумом. Это обстоятельство становится особенно существенным при пониженных температурах уплотнения. По изменению физико-механических показателей асфальтовяжущего при уплотнении в разных режимах можно оценивать влияние полимерных добавок на уплотняемость асфальтовяжущего и асфальтобетона. Особый интерес эти данные представляют при оценке уплотняемости при пониженных температурах.

Для приготовления асфальтовяжущего использовался неактивированный доломитовый минеральный порошок ОАО «Доломит» и битум нефтяной дорожный вязкий БНД 60/90 Московского НПЗ. Асфальтовяжущее приготавливали в 10-литровом лабораторном смесителе с подогревом смесительной камеры. Битум нагревался до 150-160°C, в него вводились добавки в заданном процентном соотношении. Смешивание битума с добавками производилось в лабораторном смесителе для приготовления полимерно-битумных вяжущих в течение 3 минут. Минеральный порошок нагревался до температуры 160-170°C и засыпался в смеситель, затем вводился битум с добавками и проводилось смешивание в течение 3 минут для равномерного распределения вяжущего в минеральном порошке.

Предварительно было определено оптимальное количество битума в асфальтовяжущем, при котором достигается его максимальная средняя плотность и прочность. Образцы асфальтовяжущего изготавливались с использованием форм для асфальтобетона $d=50,5$ мм. Нагрузка на образец составляла 8 тонн, время воздействия нагрузки – 3 минуты. Температура асфальтовяжущего при формовании принималась равной 140°C, так как при температуре формования 140-160°C физико-механические свойства асфальтовяжущего не изменялись. Оптимальное количество битума составило 12% от массы минерального порошка.

Изготовление образцов асфальтовяжущего с различными добавками при различных температурах на начальном этапе производилось при нагрузке на образец $P = 8$ тонн в течение времени $t = 3$ минуты, однако, при данных параметрах уплотнения средняя плотность, водонасыщение и прочность образцов не изменялись в зависимости от температуры их формования. Поэтому, для выявления влияния введенных добавок на уплотняемость асфальтовяжущего нагрузка на образец была снижена до 3 тонн, а время уплотнения до одной минуты. Оптимальное количество битума в асфальтовяжущем при этом не изменилось и составило 12% от массы минерального порошка.

В таблице 3 приведены сведения по уплотняемости и физико-механическим показателям асфальтовяжущего при температурах уплотнения 140°C и 50°C. На рисунке 5 приведены значения коэффициента уплотняемости асфальтовяжущего, а на рисунке 6 – значения водонасыщения.

Из таблицы 3 и рисунков 5 и 6 видно, что все три добавки на основе синтетических восков – Honeywell Titan7686, Rediset WMX, Palmowax – улучшают уплотняемость асфальтовяжущего при температуре 50°C. При этом Honeywell Titan7686 и Rediset WMX снижают водонасыщение асфальтовяжущего почти вдвое, Palmowax не снижает водонасыщения. Использование добавок РТЭП и Superplast ухудшает уплотняемость асфальтовяжущего при 50°C, а

водонасыщение увеличивается с 4 до 7-9%. Добавки термоэластопластов ДСТ-30-01 и Kibiton PB-5301 по-разному влияют на уплотняемость. Введение ДСТ-30-01 ухудшает уплотняемость асфальтобетона незначительно и водонасыщение увеличивается на 1,5%. Введение добавки Kibiton PB-5301 не изменяет уплотняемость, уменьшая водонасыщение на 2%.

Таблица 3 – Уплотняемость и физико-механические показатели асфальтовяжущего при пониженных температурах с различными полимерными добавками

№ п/п	Наименование и количество добавки в асфальтовяжущем, % от массы битума	Температура уплотнения, T, °C	Средняя плотность, ρ, г/см ³	Коэффициент уплотняемости, (Купл=ρ ₅₀ /ρ ₁₄₀)	Водонасыщение, W, %	Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, R _в , МПа	Предел прочности при сжатии при 50°С, R ₅₀ , МПа
1	БНД 60/90 без добавок	140	2,28	0,98	0,36	6,20	2,29
		50	2,24		3,93	5,05	1,36
2	Honeywell Titan 7686 - 1,5	140	2,29	0,99	0,77	8,11	3,17
		50	2,27		1,80	6,10	1,85
3	Rediset WMX - 1,5	140	2,30	0,99	0,70	5,99	2,44
		50	2,28		1,90	4,79	1,63
4	Palmowax - 1,5	140	2,28	0,99	1,90	6,95	2,70
		50	2,25		3,90	5,25	1,62
5	РТЭП - 5,5	140	2,25	0,97	3,80	7,28	3,18
		50	2,19		7,00	4,93	2,15
6	Superplast - 5,0	140	2,19	0,97	6,10	6,28	2,97
		50	2,13		9,20	4,91	1,69
7	ДСТ 30-01 - 3,5	140	2,28	0,97	0,80	8,38	3,55
		50	2,21		5,50	5,53	1,99
8	Kibiton PB-5301- 3,5	140	2,29	0,98	0,11	7,56	3,67
		50	2,24		2,29	6,41	2,10

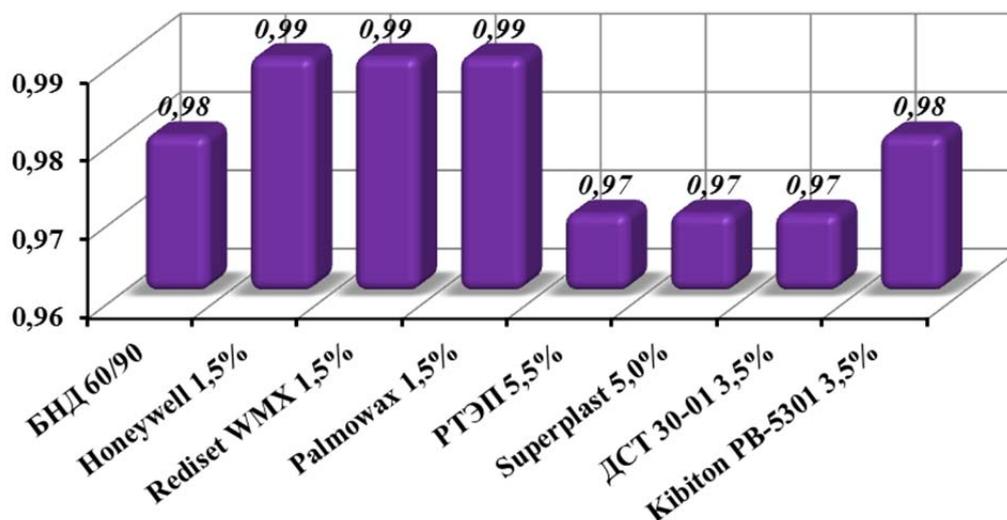


Рисунок 5 – Значения коэффициента уплотняемости асфальтовяжущего с различными полимерными добавками

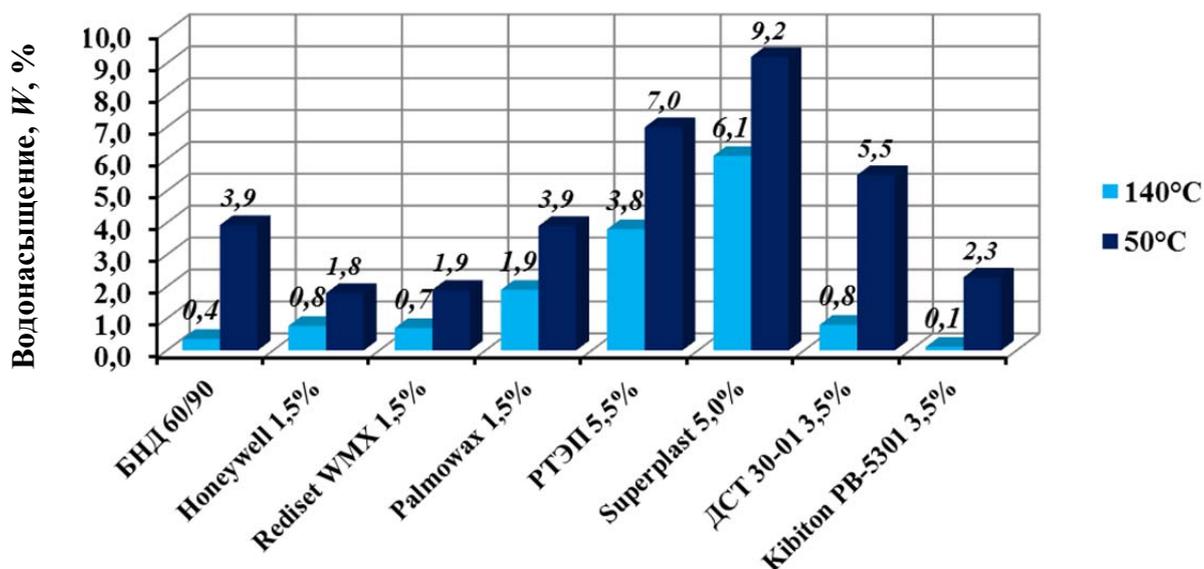


Рисунок 6 – Показатели водонасыщения асфальтовяжущего с различными полимерными добавками, %

Таким образом, оценка свойств дорожного битума и асфальтовяжущего с полимерными добавками применительно к использованию в асфальтобетоне позволяет предварительно охарактеризовать их возможности, сильные и слабые стороны, выбрать определенный технологический подход при приготовлении ПБВ и асфальтобетонной смеси, укладке и уплотнении.

Добавки для теплого асфальтобетона на основе синтетических восков хорошо растворяются в битуме, поэтому интенсивного перемешивания для их распределения в рабочих битумных емкостях не требуется. Реологические сопротивления в процессе приготовления асфальтобетонной смеси увеличиваются незначительно, но уплотняемость при пониженных температурах улучшается. Следует отметить многофункциональное действие добавки Honeywell Titan 7686. Она является адгезионной добавкой, добавкой для теплых смесей, а также структурообразующей добавкой, повышающей показатели механической прочности и сдвигоустойчивости асфальтовяжущего и асфальтобетона.

Термопластичные добавки полиолефинов несовместимы с битумом, поэтому они вводятся в асфальтосмеситель при производстве асфальтобетонных смесей. Добавки полиолефинов являются структурообразующими добавками, повышающими показатели механической прочности и сдвигоустойчивости асфальтовяжущего и асфальтобетона. Для использования в верхних слоях покрытий требуется введение адгезионных добавок.

Дивинилстирольные термоэластопласты для их распределения и набухания в битуме требуют использования специального смесительного оборудования. При производстве асфальтобетонных смесей увеличивают реологические сопротивления в битуме и асфальтобетонной смеси. Добавки термоэластопластов являются структурообразующими добавками, повышающими показатели механической прочности и сдвигоустойчивости, а при определенных значениях снижающими трещиностойкость асфальтовяжущего и асфальтобетона [13]. При использовании в верхних слоях покрытий требуется введение адгезионных добавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энциклопедия полимеров, Т. 1 [Текст] – М.: «Советская энциклопедия». – 1972. – С. 515.
2. Золотарев, В.А. V конгресс «Евроасфальт-Евробитум» [Текст] / В.А. Золотарев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2012. – №4. – С. 40-41.
3. Покровский, А.В. Применение дефлегматоров [Текст] / А.В. Покровский, Н.В. Майданова // Автомобильные дороги. – 2011. – №5. – С. 120-122.
4. Краткая химическая энциклопедия, Т. 4 [Текст] – М.: «Советская энциклопедия». – 1965. – С. 199.
5. Энциклопедия полимеров, Т. 2 [Текст] – М.: «Советская энциклопедия». – 1974. – 1032 с.

6. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве PIARC-AIPCR / Перевод с франц. В.А. Золотарева, П.А. Беспаловой. – Харьков: ХНАДУ. – 2003. – 229 с.
7. Энциклопедия полимеров, Т. 3 [Текст] – М.: Советская энциклопедия. – 1977. – С. 638.
8. Патент №2474595 РФ, МПК7 C08L 95/00, C04B, C04B 24/12, C08K 13/02. Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь и способ ее получения. Соломенцев А.Б., Колодезный В.П., Старчак А.П., Тюкалов И.В. – №2011120846/05; заявл.25.05.2011; опубл. 10.02.2013 г.
9. Сирота, А.Г. Модификация структуры и свойств полиолефинов [Текст] / А.Г. Сирота. – Л.: Химия. – 1984. – 152 с.
10. Куликова, А.В. Реологические свойства дорожного битума с добавками для теплого асфальтобетона [Текст] / А.В. Куликова, А.Б. Соломенцев // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет-УНПК. – 2013. – №5. – С. 73-78.
11. Королев, И.В. Дорожный теплый асфальтобетон [Текст] / И.В. Королев, Е.Н. Агеева, В.А. Головкин, Г.Ф. Фоменко. – Киев: Вища школа. Головное издательство. – 1984. – 200 с.
12. Колесник, Д.А. Выбор модификатора асфальтобетона для расширения строительного сезона [Текст] / Д.А. Колесник // Мир дорог. – 2013. – С. 45-47.
13. Золотарев, В.А. Свойства асфальтобетонов на основе битумов с большим содержанием полимера [Текст] / В.А. Золотарев, А.С. Лапченко // Битумы, модифицированные полимерами и добавками. Избранные труды. Том 2 / В.А. Золотарев. – Санкт-Петербург: Славутич, 2013. – С. 103-110.

Соломенцев Александр Борисович

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»
Тел.: +7 (4862) 47-51-93
E-mail: absolomentsev@mail.ru

Куликова Анастасия Владимировна

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Аспирант кафедры «Строительство автомобильных дорог»
Тел.: +7 (953) 610 58 57
E-mail: AnastKulikova@mail.ru

Бухтияров Сергей Владимирович

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Студент пятого курса специальности 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы»
Тел.: +7 (920) 802 67 08
E-mail: sersch009@mail.ru

A. SOLOMENTSEV, A. KULIKOVA,
S. BUKHTIYAROV

**COMPARATIVE ASSESSMENT OF SOME PROPERTIES
OF ROAD BITUMEN WITH DIFFERENT POLYMER ADDITIVES
AND BONDING AGENTS BASE ON THE BITUMEN**

The paper covers three groups of polymer additives: ones based on synthetic waxes, thermoplastics and thermoplastic elastomers. The authors present data on the use of polymer additives, determined time of distribution of the additives in the road bitumen and bitumen adhesion of additives with acidic rocks. The paper also presents determined dynamic viscosity of the bitumen with polymer additives at different temperatures. During the work the authors have determined some physical and mechanical properties and compatibility of bitumen bonding agents mixed with various polymer additives. As a result it was defined that addition of additives based on synthetic waxes improved compatibility of bitumen bonding agents at lower temperatures.

Keywords: road bitumen, asphalt, synthetic waxes, thermoplastics, thermoplastic elastomers, asphaltseguma, warm asphalt mixture compaction asphaltseguma.

BIBLIOGRAPHY

1. Jenciklopedija polimerov, T. 1 [Tekst] – M.: «Sovetskaja jenciklopedija». – 1972. – S. 515.
2. Zolotarev, V.A. V kongress «Evroasfal't-Evrobitum» [Tekst] / V.A. Zolotarev // Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli. – 2012. – №4. – S. 40-41.
3. Pokrovskij, A.V. Primenenie deflegmatorov [Tekst] / A.V. Pokrovskij, N.V. Majdanova // Avtomobil'nye dorogi. – 2011. – №5. – S. 120-122.
4. Kratkaja himicheskaja jenciklopedija, T. 4 [Tekst] – M.: «Sovetskaja jenciklopedija». – 1965. – S. 199.
5. Jenciklopedija polimerov, T. 2 [Tekst] – M.: «Sovetskaja jenciklopedija». – 1974. – 1032 s.
6. Modificirovannye bitumnye vjazhushhie, special'nye bitумы i bitумы s dobavkami v dorozhnom stroitel'stve PIARC-AIPCR / Perevod s franc. V.A. Zolotareva, P.A. Bespalovoj. – Har'kov: HNADU. – 2003. – 229 s.
7. Jenciklopedija polimerov, T. 3 [Tekst] – M.: Sovetskaja jenciklopedija. – 1977. – S. 638.
8. Patent №2474595 RF, MPK7 S08L 95/00, S04V, S04V 24/12, S08K 13/02. Shhebenochno-mastichnaja asfal'tobetonnaja smes' i sposob ee poluchenija. Solomencev A.B., Kolodeznyj V.P., Starchak A.P., Tjukalov I.V. – №2011120846/05; zajavl.25.05.2011; opubl. 10.02.2013 g.
9. Sirota, A.G. Modifikacija struktury i svojstv poliolefinov [Tekst] / A.G. Sirota. – L.: Himija. – 1984. – 152 s.
10. Kulikova, A.V. Reologicheskie svojstva dorozhnogo bituma s dobavkami dlja teplogo asfal'tobetona [Tekst] / A.V. Kulikova, A.B. Solomencev // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet-UNPK. – 2013. – №5. – S. 73-78.
11. Korolev, I.V. Dorozhnyj teplyj asfal'tobeton [Tekst] / I.V. Korolev, E.N. Ageeva, V.A. Golovko, G.F. Fomenko. – Kiev: Vishha shkola. Golovnoe izdatel'stvo. – 1984. – 200 s.
12. Kolesnik, D.A. Vybor modifikatora asfal'tobetona dlja rasshirenija stroitel'nogo sezona [Tekst] / D.A. Kolesnik // Mir dorog. – 2013. – S. 45-47.
13. Zolotarev, V.A. Svojstva asfal'tobetonov na osnove bitumov s bol'shim soderzhaniem polimera [Tekst] / V.A. Zolotarev, A.S. Lapchenko // Bitумы, modificirovannye polimerami i dobavkami. Izbrannye trudy. Tom 2 / V.A. Zolotarev. – Sankt-Peterburg: Slavutich, 2013. – S. 103-110.

A. Solomentsev

State university – educational-science-production complex, Orel

Candidate of technical sciences, senior lecturer of the department «Construction of highways»

Ph.: +7 (4862) 73-43-67

E-mail: absolomentsev@mail.ru

A. Kulikova

State university – educational-science-production complex, Orel

Post graduate student of the department «Construction of highways»

Ph.: +7 (953) 610 58 57

E-mail: AnastKulikova@mail.ru

S. Bukhtiyarov

State university – educational-science-production complex, Orel

Student of the 5-th class specialty 270205 «Highways and airfields»

Ph.: +7 (920) 802-67-08

E-mail: sersch009@mail.ru

СТРОЕВ Д.А., ГОРЕЛОВ С.В., СИЗОНЕЦ С.В.

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ ДОБАВКАМИ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН

Исследовано влияние добавок тонкого базальтового волокна на свойства органоминеральных смесей. Установлено, что дисперсное армирование минеральным волокном практически не сказывается на устойчивости исследуемого материала к термоокислительному старению, и позволяет улучшить его физико-механические свойства и повысить морозостойкость.

Ключевые слова: органоминеральная смесь, устойчивость к термоокислительному старению, морозостойкость, базальтовое волокно.

В настоящее время довольно актуальны вопросы экологической безопасности и снижения энергозатрат при получении дорожно-строительных материалов. Одним из способов решения этих задач является применение материалов на основе композиции эмульгированного битума и портландцемента, которые сочетают в себе положительные качества традиционных асфальтобетонов и отличаются высокими деформационно-прочностными свойствами. Использование таких материалов позволит решить проблему сдвигоустойчивости дорожных покрытий, снизить энергозатраты на приготовление смеси и сократить расход дорогостоящего органического вяжущего.

Попытки разработки материала сочетающего высокую деформативность асфальтобетона, а так же прочность и жёсткость цементобетона в нашей стране принимаются с начала 50-х годов прошлого века [1].

В настоящей работе изучены свойства органоминеральных смесей по ГОСТ-30497-97 на основе комплексного вяжущего состоящего из битумной эмульсии и портландцемента, для устройства покрытий автомобильных дорог.

Как показывают многочисленные исследования, одним из наиболее эффективных методов повышения сопротивления покрытий автомобильных дорог развитию различного рода разрушений и деформаций, является использование дисперсно-армированных строительных материалов. В настоящее время использование волокон в составе различных строительных материалов стало промышленной технологией во многих странах: Франции, Германии, Швеции, Финляндии, Польше, Канаде, Австрии и др.

В этой связи разработка устойчивых к сдвиговым и климатическим воздействиям дисперсно-армированных строительных материалов на основе битумных эмульсий, предназначенных для строительных и ремонтных работ, является актуальной задачей.

Действующий нормативный документ [2] не предъявляет требований к сдвиговым характеристикам органоминеральных смесей под действием высоких температур, также не регламентируются показатели деформативных качеств материала при пониженных температурах.

С целью оптимизации структурно-механических свойств органоминеральных смесей (ОМС) в работе выполнен широкий спектр испытаний направленных на обеспечение максимальной устойчивости разрабатываемого материала в условиях эксплуатации. Помимо стандартных характеристик образцы приготавливаемых смесей предложено дополнительно испытывать на сдвигоустойчивость и трещиностойкость при расколе по методикам, описанным в [3].

На начальном этапе исследований для предварительного определения битумоёмкости B_0 подобранной минеральной части и обеспечения нормативных показателей свойств материала, были приготовлены серии образцов органоминеральной смеси горячим способом на основе битума БНД 90/130 используемого в дальнейшем для получения эмульсий, с целью исключить фактор продолжительности распада эмульсионной системы при перемешивании с минеральной частью смеси [4].

В ходе эксперимента, битум, разогретый до рабочей температуры (140-150°C) подавался на горячий минеральный материал, после чего приготовление смеси осуществлялось в лабораторной мешалке, при перемешивании в течение 30-60 сек, для равномерного распределения вяжущего по поверхности минеральных компонентов. При определении стандартных физико-механических показателей полученных ОМС было установлено, что необходимое количество органического связующего (% от массы минеральных материалов) находится в интервале 4-5%, что соответствует 7-9% эмульгированного битума.

Необходимое количество эмульсии определялось по формуле:

$$Э_0 = (B_0 / K) \times 100,$$

где K – рабочая концентрация эмульсии, %.

На следующем этапе подбора компонентного состава ОМС интерес представляло определение оптимального количества воды для предварительного смачивания минеральных материалов. В ходе эксперимента были приготовлены три серии образцов с максимальной концентрацией портландцемента (3%), с целью создания наиболее неблагоприятных условий для равномерного распределения битумной пленки, и различным содержанием воды (1; 2; 3%). В процессе приготовления и испытаний полученных смесей было установлено, что образцы, содержащие 1% воды, характеризовались плохой обволакиваемостью минеральных материалов эмульгированным битумом. Наличие в смеси большого количества тонкодисперсных минеральных заполнителей, обладающих большой удельной поверхностью, способствовало быстрому распаду битумной эмульсии. Анализируя результаты эксперимента, можно сделать вывод, что при малом содержании воды смачивания такой эффект наблюдался даже в образцах смеси с высоким содержанием битумной эмульсии.

При введении в состав смеси 3% воды показатель водонасыщения превышал требования ГОСТ 30491-97 или имел предельные значения, что, по-видимому, связано с повышением пористости материала после окончательного удаления из него воды. Поэтому для предварительного смачивания минеральных материалов оптимальной выбрана концентрация воды - 2%.

Далее проводился анализ влияния портландцемента на физико-механические свойства ОМС. По результатам эксперимента установлено, что введение в состав материала 1% портландцемента не существенно сказывалось на свойствах исследуемого материала. С дальнейшим увеличением концентрации минерального вяжущего повысилась водостойкость композиционного материала, что положительно отразится на коррозионной устойчивости покрытия под действием атмосферных осадков, вместе с тем наблюдалось значительное повышение прочностных показателей при 50 и 20°C, за счёт формирования жёстких кристаллизационных связей в структуре ОМС.

Увеличение содержания портландцемента оказывало неоднозначное воздействие на водонасыщение исследуемого материала. С одной стороны это обусловлено сокращением периода распада битумной эмульсии, что в свою очередь может привести к недостаточной однородности распределения битумной плёнки на поверхности частиц минерального материала и как следствие повышению данного показателя. Напротив, в процессе гидратации портландцемента его минералы увеличиваются в объёме, уплотняя структуру смеси снижая значения рассматриваемой характеристики.

Поэтому в ходе варьирования концентрации гидравлического вяжущего значения водонасыщения изменялись незначительно, оставаясь в интервале нормативных требований. Так же наблюдались незначительные изменения показателя набухания.

Увеличение доли жестких контактов выраженных прочными кристаллизационными связями, обеспечивает высокую сдвигоустойчивость материала, о чём свидетельствовали показатели угла внутреннего трения и сцепления при сдвиге у смесей с повышенной концентрацией портландцемента. Наряду с этим следует учитывать, что повышение жёсткости ОМС повлечёт за собой снижение её деформативных качеств, при пониженных температурах.

Так, с концентрацией минерального вяжущего 3%, органоминеральные смеси характеризовались высокой сдвиго- и термоустойчивостью при повышенных температурах и слабой устойчивостью при воздействии пониженных температур, о чём свидетельствовали низкие

значения показателя предела прочности при расколе. Исходя из необходимости обеспечения устойчивости материала в широком диапазоне температур, наиболее оптимальной представляется концентрация гидравлического вяжущего составляющая 2% от массы минеральных компонентов.

В дальнейшем интерес представляло изучение влияния добавок базальтовых волокон на физико-механические свойства исследуемого материала. Физико-механические характеристики тонкого базальтового волокна представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики тонкого базальтового волокна

Характеристика	Единица измерения	Значение
Диаметр элементарных волокон	мкм	4-6
Длина волокон	мм	3-7
Объёмная масса	кг/м ³	18-25
Теплопроводность, при 300 ⁰ К	Вт/м×°К	0,035-0,036
Температура применения	⁰ С	-200...+600

Для этого были приготовлены образцы органоминеральных смесей с различной концентрацией волокон базальта.

По результатам эксперимента установлено, что армирование разрабатываемого материала базальтовыми волокнами позволяет на 30% снизить концентрацию портландцемента в составе смеси, и как следствие повысить деформативность материала при низких температурах, одновременно обеспечивая высокие прочностные и сдвиговые характеристики материала в условиях воздействия повышенной температуры.

Так с увеличением содержания минерального волокна до 0,5% наблюдалось повышение прочности при 20°С на 15%, при 50°С на 40%, повысился предел прочности при расколе на 13%. Незначительно изменился показатель водонасыщения материала (рис. 1).

Введение дисперсных волокон должно способствовать формированию более плотной структуры материала, вместе с тем увеличение удельной поверхности минеральной части смеси сократит период распада эмульсии, ухудшая обволакиваемость битумной плёнкой частиц минерального материала.

Наблюдалось незначительное повышение водостойкости очевидно связанное с увеличением доли гидратированного портландцемента в результате снижения свободного битума в структуре смеси.

Влияние дисперсного армирования на сдвигоустойчивость разработанного материала исследовалось по показателям угла внутреннего трения (tgφ) и сцепления при сдвиге (С). С увеличением содержания минеральных волокон до 0,5% значения данных показателей увеличивались на 8% и 95% соответственно (рис. 2).

Увеличение содержания армирующего агента свыше 0,5% ведёт к снижению плотности материала и резкому повышению водонасыщения что, по-видимому, связано с избытком волокон и невозможностью их однородного распределения в структуре асфальтового вяжущего.

По совокупности оптимальных физико-механических показателей материала определена необходимая концентрация базальтовых волокон в смеси, составляющая - 0,3-0,5%, от массы минеральной части смеси.

Долговечность покрытий автомобильных дорог, устроенных на основе битумо-минеральных смесей во многом зависит от способности битумного вяжущего сохранять свои свойства в условиях воздействия погодных-климатических факторов.

Колбановская А.С. отмечает, что в начальный период протекания процессов старения происходит повышение вязкости и когезии битума, вследствие чего наблюдается повышение прочности материала. Далее, по мере увеличения количества асфальтенов в битуме происходят его структурные изменения, которые влияют на упругопластические свойства материала, снижается внутреннее сцепление и происходит заметное падение прочностных характеристик [5].

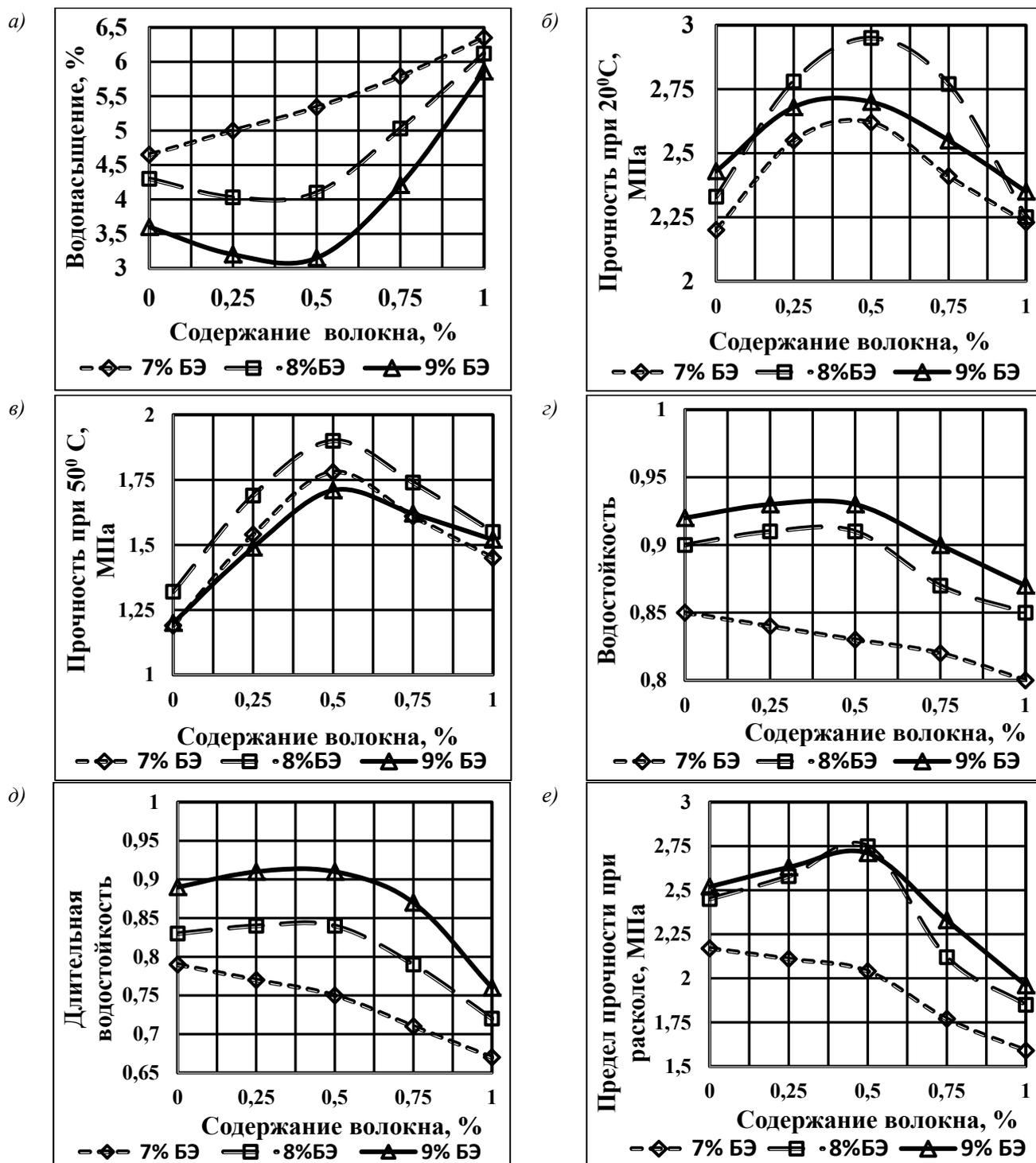


Рисунок 1 – Изменение физико-механических показателей ОМС в зависимости от содержания битумной эмульсии (БЭ) и базальтовых волокон: а – водонасыщение; б – предел прочности при 20°C; в – предел прочности при 50°C; г – водостойкость; д – водостойкость при длительном водонасыщении, е – предел прочности при расколе

В работе, с целью изучения влияния предложенного модификатора, а так же сравнения устойчивости к термоокислительному старению композиционного материала и традиционного горячего асфальтобетона, были исследованы три серии образцов смесей. В ходе эксперимента были приготовлены органоминеральная смесь с добавкой 0,5% базальтового волокна, контрольная смесь без добавки, и горячий асфальтобетон типа Б, на битуме 90/130. Образцы, приготовленные из указанных смесей, выдерживались в сушильном шкафу с механической конвекцией при температуре 163°C в течение заданных временных промежутков от 5 до 50 часов. После чего подвергались испытанию на определение предела прочности при 20°C.

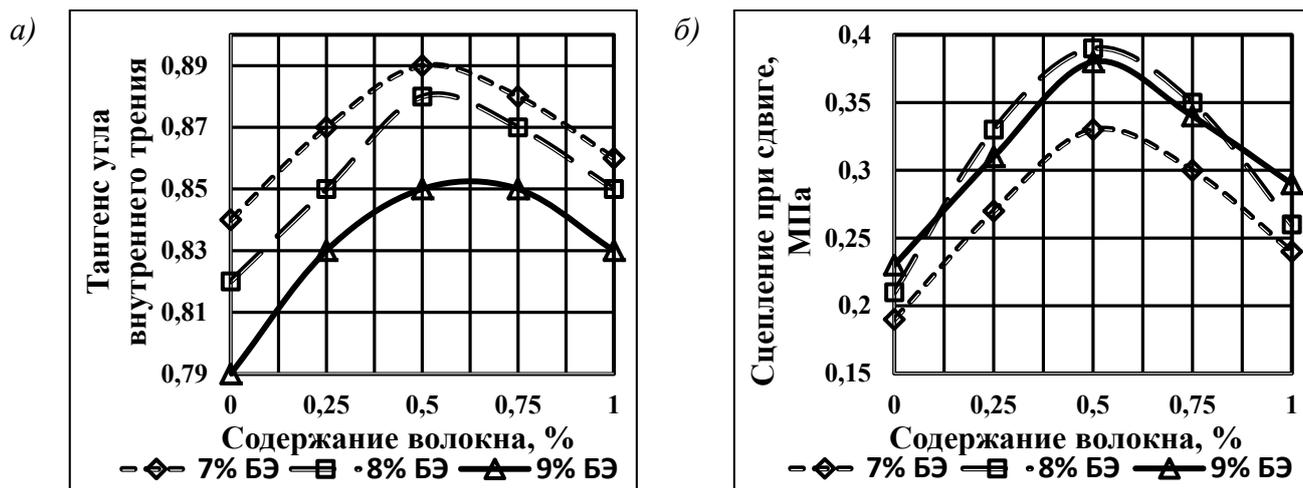


Рисунок 2 – Изменение показателей сдвигоустойчивости ОМС в зависимости от содержания битумной эмульсии (БЭ) и базальтовых волокон; а – тангенс угла внутреннего трения; б – сцепление при сдвиге

По результатам проведённого эксперимента установлено, что снижение прочностных показателей традиционного асфальтобетона наступает на рубеже 10 часов пребывания в условиях заданной температуры. В то время как у органоминеральных смесей порог снижения прочности отмечен в зоне 30-35 часов (рис. 3). Очевидно, это связано с отсутствием высокотемпературного воздействия при приготовлении ОМС, а так же высокой устойчивостью кристаллизационных связей композиционной структуры к разрушающему воздействию теплового фактора. Влияние волокнистого компонента на процесс старения материала не оказалось существенным, заметно лишь плавное снижение прочности дисперсно-армированного материала по сравнению с контрольным образцом. Что свидетельствует о высоком структурообразующем воздействии армирующего компонента.

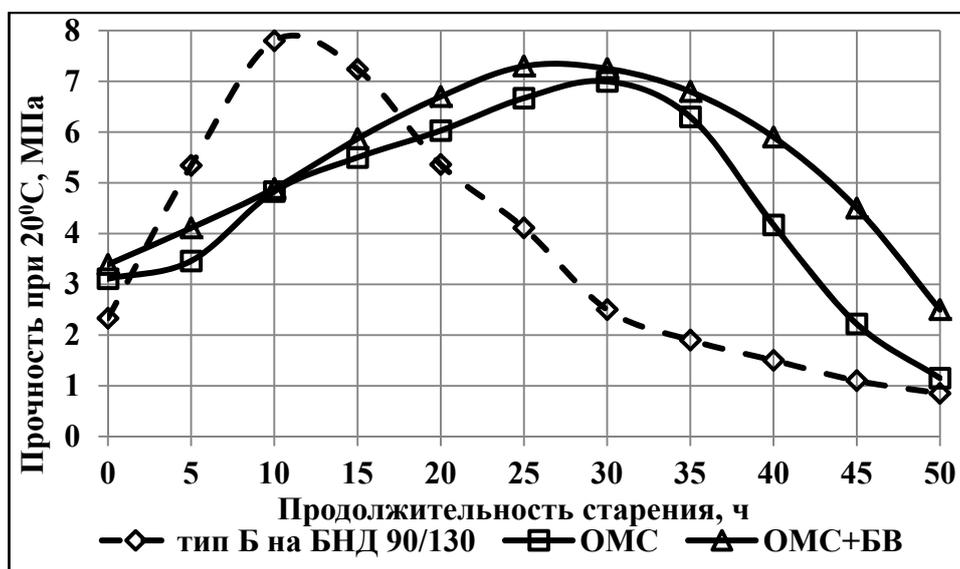


Рисунок 3 – Исследования устойчивости битумоминеральных смесей к термоокислительному старению

Частые перепады среднесуточной температуры через 0°C способствуют возникновению растягивающих напряжений в слоях покрытий автомобильных дорог. В этой связи развитие микротрещин в конструктивном слое приводит к проникновению воды в структуру асфальтобетона и отслоению битумной плёнки с поверхности частиц минерального остова. В

результате образуются коррозионные разрушения и постепенное снижение несущей способности дорожной конструкции.

С целью изучения устойчивости разработанного материала к циклическому воздействию пониженных температур проводились испытания по определению морозостойкости контрольных образцов органоминеральной смеси и дисперсно-армированных добавкой базальтового волокна. Приготовленные образцы подвергались переменному воздействию циклов замораживания и оттаивания. Анализ полученных результатов позволяет установить, что дисперсно-армированные органоминеральные смеси более устойчивы к воздействию температурных перепадов. Снижение прочностных характеристик армированного материала после 50 циклов замораживания и оттаивания в среднем на 14% меньше этого показателя у контрольного образца ОМС (рис. 4).



Рисунок 4 – Изменение потери прочности при сжатии при 20°C в зависимости от количества циклов замораживания-оттаивания.

Структура кластеров, сформированная в асфальтовяжущем базальтовыми волокнами, способствует увеличению сопротивления воздействию растягивающих напряжений. Проведённый эксперимент позволяет сделать вывод, что предложенный армирующий агент способствует повышению устойчивости слоя покрытия к воздействию погодно-климатических факторов.

Выводы

Проведённые исследования свидетельствуют о целесообразности применения в качестве армирующего компонента органоминеральных смесей (ОМС) тонкого базальтового волокна, которое одновременно способствует повышению прочностных характеристик, а также сдвиго- и трещиностойкости полученного композита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веренько, В.А. Дорожные композитные материалы. Структура и механические свойства [Текст] / В.А. Веренько. – Минск. Наука і тэхніка, 1993. – 246 с.
2. ГОСТ 30491-97. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия [Текст] – М.: ГОССТРОЙ РОССИИ. – 1997. – 12с.
3. ГОСТ 12801-98 (с изм. 1. 2002) Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 32 с.
4. Пособие по приготовлению и применению битумных дорожных эмульсий (к СНиП 3.06.03-85) [Текст]. – М: Стройиздат. – 1989. – 54с.
5. Колбановская, А.С. Дорожные битумы [Текст] / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. – М. Транспорт, 1973. – 260 с.

Строев Дмитрий Александрович

Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону
Ассистент кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы»
Тел.: +7 918 534 39 93
E-mail: mr.stroev@rambler.ru

Горелов Станислав Викторович

Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы»
Тел.: +7 909 420 85 04

Сизонец Сергей Владимирович

Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону
Аспирант кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы»
Тел.: +7 951 509 01 09
E-mail: sizonez@rambler.ru

D. STROEV, S.GORELOV, S. SIZONETS

STUDY OF THE PROPERTIES OF MIXTURES OF ORGANIC-PARTICULATE-REINFORCED ADDITIVES BASALT FIBERS

The effect of the addition of a thin basalt fiber on the properties of organic-compounds. Found that the particulate mineral fiber reinforcement does not influence the stability of the material-oxidative aging, and helps to improve its physical and mechanical properties and increase frost resistance.

Keywords: by organic mixture, resistance to oxidative aging, frost, basalt fiber.

BIBLIOGRAPHY

1. Veren'ko, V.A. Dorozhnye kompozitnye materialy. Struktura i mehanicheskie svojstva [Tekst] / V.A. Veren'ko. – Minsk. Navuka i tjehnika, 1993. – 246 s.
2. GOST 30491-97. Smesi organomineral'nye i grunty, ukreplennye organichesкими vjashushhimi, dlja dorozhnogo i ajerodromnogo stroitel'stva. Tehniceskie uslovija [Tekst] – M.: GOSSTROJ ROSSII. – 1997. – 12s.
3. GOST 12801-98 (s izm. 1. 2002) Materialy na osnove organiceskih vjashushhих dlja dorozhnogo i ajerodromnogo stroitel'stva. Metody ispytanij [Tekst]. – M.: Izdatel'stvo standartov, 2003. – 32 s.
4. Posobie po prigotovleniju i primeneniju bitumnyh dorozhnyh jemul'sij (k SNiP 3.06.03-85) [Tekst]. – M: Strojizdat. – 1989. – 54s.
5. Kolbanovskaja, A.S. Dorozhnye bitумы [Tekst] / A.S. Kolbanovskaja, V.V. Mihajlov. – M. Transport, 1973. – 260 s.

D. Stroev

Rostov state building university, Rostov-on-don
Assistant of the department «Highways and airports»
Ph.: +7 918 534 39 93
E-mail: mr.stroev@rambler.ru

S. Gorelov

Rostov state building university, Rostov-on-don
Candidate of technical sciences, professor of the department «Highways and airports»
Ph.: +7 909 420 85 04

S. Sizonets

Rostov state building university, Rostov-on-don
Postgraduate student of the department «Highways and airports»
Ph.: +7 951 509 01 09
E-mail: sizonez@rambler.ru

ЧЕРНЫХ Д.С., ЗАДОРЖНИЙ Д.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА В СОСТАВЕ ГОРЯЧИХ ПЛОТНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ТИПА А

В статье представлен анализ влияния содержания асфальтогранулята на физико-механические свойства асфальтобетонной смеси типа А. На основании результатов экспериментальных исследований установлено, что оптимальное количество фрезерованного асфальтобетона составляет не более 30-35% от массы минерального материала. При большем его содержании наблюдается понижение физико-механических свойств.

Ключевые слова: асфальтогранулят, фрезерованный асфальтобетон, асфальтобетон типа А.

В нашей стране, при устройстве покрытий и оснований дорожных одежд, остро стоит вопрос использования дорожно-строительных материалов, получаемых при фрезеровании асфальтобетонных дорожных покрытий (асфальтогранулята) [1, 2].

Асфальтобетон даже по истечении расчетного срока службы в течение 10-12 лет сохраняет свойства к восстановлению до 80-90% полезной массы. Так, при переработке 1000 тонн старого асфальтобетона экономится до 900 тонн минеральных материалов (щебня, песка, минерального порошка) и около 70 тонн битума, что ведет к значительному экономическому эффекту. Результаты исследований говорят о том, что при повторном использовании фрезерованного асфальтобетона старых дорожных покрытий его минеральные составляющие, сохранившиеся на своей поверхности пленку асфальтового вяжущего, показывают свойства, характерные для активированных материалов [1, 2].

Асфальтобетонный гранулят образуется при фрезеровании асфальтобетонного покрытия или при дроблении асфальтобетонного лома на дробильно-сортировочной установке. Он имеет непрерывный агрегатный состав (распределение гранул по размерам), который часто соответствует требованиям, предъявляемым к зерновому составу минеральной части горячих асфальтобетонных смесей для слоев покрытий и оснований по ГОСТ 9128-2009 [3, 5].

Для определения возможности применения асфальтогранулята следует провести оценку его физико-механических свойств, так же следует отдельно рассматривать свойства минеральной части асфальтогранулята и битума. Важно помнить, что применение асфальтогранулята ведет к решению проблемы охраны окружающей среды и уменьшению дефицита исходных каменных материалов.

Для данной работы асфальтогранулят отобран после холодного фрезерования слоев покрытий федеральной автомобильной дороги М4 «Дон» км1002 - км1007 в Ростовской области. В среднем срок эксплуатации данных участков составил 4-7 лет. Фрезерование проводилось машинами фирмы «Виртген» на ширину 0,5-2,0 м при максимальной глубине 5 см. На гранулометрический состав сфрезерованного асфальтобетона оказывает влияние скорость фрезерования, тип асфальтобетона и срок службы покрытия. В Ростовской области проводилось фрезерование верхнего слоя покрытия типа А и как показали экспериментальные исследования, пробы достаточно близки по своему гранулометрическому составу к данному типу асфальтобетона.

Для определения свойств вяжущего асфальтогранулята было проведено экстрагирование его в центробежном экстракторе «МАТЕСТ» В015 в четыреххлористом углероде. После экстрагирования растворенное вяжущее процеживалось через сито с размером ячеек 0,05 мм, для исключения мелких минеральных частиц, и выпаривался растворитель при температуре 40°C до полного его испарения. Далее определялись температура размягчения по КиШ и глубина проникания иглы при 25°C остаточного вяжущего по ГОСТ 11501-78 и 11506-73, соответственно.

В таблице 1 приведены результаты испытаний физико-механических показателей битума, после экстрагирования асфальтогранулята.

Таблица 1 – Физико-механические показатели пробы битума после экстрагирования асфальтогранулята

Наименование показателей	Требования для битумов марки БНД 60/90 ГОСТ 22245-90	Показатели пробы битума
Глубина проникания иглы, 0.1 мм, не менее при 25°C	61-90	64
Температура размягчения битума, °С, не ниже	47	51

Анализ показателей вяжущих полученных из проб асфальтогранулята позволяет заключить, что они соответствуют требованиям ГОСТ 22245-90 к битумам БНД 60/90. Значение глубины проникания иглы близко к нижней границе требований ГОСТ 22245 к битумам БНД 60/90, а температура размягчения по КиШ несколько превышает их.

В таблицах 2-3 приведены показатели физико-механических характеристик минерального материала и зерновой состав пробы асфальтогранулята.

Все физико-механические показатели минерального материала асфальтогранулята определялись по методикам действующих стандартов: ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 8736-93.

Таблица 2 – Физико-механические показатели минерального материала асфальтогранулята

Наименование показателей	Отсев 0-10 мм		Фр. 0-10 мм
	Фр. 0-5 мм	Щебень фр. 5-10	
Дробимость, %	-	9,0	-
Марка по прочности	-	1200	1200
Истираемость, %	-	19,8	-
Марка по износу	-	II	II
Содержание зерен пластинчатой и игловатой форм, %	-	10,1	-
Содержание П и Г, %	11,2	-	11,2
Содержание слабых зерен, %	-	0,0	0,0
Содержание глины в комках, %	0,0	0,0	0,0
Содержание глины по набуханию в цилиндре, %	0,0	-	0,0
Плотность истинная, г/см ³	2,72	2,72	2,72
Плотность средняя, г/см ³	-	2,68	-
Плотность насыпная, кг/м ³	-	-	1320
Водопоглощение, %	-	0,32	-
Пористость, %	-	1,5	-
Пустотность, %	-	-	61,5

Таблица 3 – гранулометрический состав асфальтогранулята (после выжигания) фр. 0-10 мм

Показатель	Размер ячеек сит в мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Количество частиц, мельче данного размера, %	100	100	93,04	69,43	45,41	37,94	27,00	18,90	9,16	1,56

С использованием указанного асфальтогранулята, гранитного щебня и отсевов его дробления в лаборатории ДорТрансНИИ – РГСУ были подобраны и изучены составы горячих мелкозернистых плотных асфальтобетонных смесей типа «А» для верхних слоёв покрытия автомобильных дорог. Используемые материалы соответствуют марке по прочности 1200 и по физико-механическим показателям отвечают требованиям ГОСТ 9128-2009, ГОСТ 8269.0-97, ГОСТ 8736-93, ГОСТ Р 52129-2003.

Для оценки влияния асфальтогранулята на физико-механические показатели асфальтобетона приготавливали смеси с его содержанием 5-50%. В связи с тем, что асфальтогранулят содержит в своем составе битум, необходимо исключить его перегрев. Моделировался процесс приготовления асфальтобетонной смеси на смесительной установке АБЗ. Для этого асфальтогранулят вводили на каменный материал нагретый до определенной ранее температуры, позволяющей до требуемой температуры разогреть асфальтогранулят и в то же время сохранить вяжущее, находящееся в нем не состаренным и не пережженным. В связи с этим асфальтогранулят подавали с предварительным нагревом до 110°С на разогретый до 180-190°С минеральный материал. В среднем температура получаемой асфальтобетонной смеси в асфальтосмесителе при содержании асфальтогранулята до 35% достигала 150-160°С. При большем его содержании – 50%, она понижалась до 140°С. В таблице 4 представлены составы подобранных горячих мелкозернистых плотных асфальтобетонных смесей типа А с различным содержанием асфальтогранулята. По зерновому составу асфальтобетонные смеси соответствуют требованиям ГОСТ 9128-2009.

Таблица 4 – Зерновые составы горячих мелкозернистых плотных асфальтобетонных смесей типа «А» с использованием асфальтогранулята

Состав смеси, %	Размер зерен, мм.									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Требования ГОСТ 9128-2009	90-100	75-100	62-100	40-50	28-38	20-28	14-20	10-16	6-12	4-10
Щ – 60%, ОД – 37%, АГ – 0%, МП – 3%	98,2	97,1	74,6	41,3	28,9	25,0	18,7	13,3	8,6	6,0
Щ – 58%, ОД – 34%, АГ – 5%, МП – 3%	99,5	97,8	78,9	40,1	29,0	24,7	18,5	13,4	8,9	5,5
Щ – 52%, ОД – 25%, АГ – 20%, МП – 3%	100,0	98,0	72,7	42,2	30,0	25,9	19,4	14,5	9,1	5,0
Щ – 49%, ОД – 13%, АГ – 35%, МП – 3%	100,0	97,6	67,3	40,8	28,3	24,3	18,2	13,6	8,3	4,1
Щ – 39%, ОД – 8%, АГ – 50%, МП – 3%	100,0	97,6	66,7	45,8	31,4	26,9	20	14,9	8,8	3,9

Примечание: Щ – Гранитный щебень, ОД – Отсев дробления гранитного щебня, МП – минеральный порошок, АГ – асфальтогранулят. Суммарное содержание битума составляло 5,3%.

Представленные на рисунках 1-2 физико-механические показатели исследуемых смесей типа А, полученные с содержанием асфальтогранулята до 35%, показали повышение показателей свойств. Однако уже при содержании 50% асфальтогранулята показатели свойств асфальтобетонных образцов начинают несколько снижаться, что связано с понижением температуры в асфальтосмесителе при введении большего количества асфальтогранулята (50% и более), имеющего более низкую температуру (110°С).

На основании проведенных исследований можно заключить, что для обеспечения хорошего качества и стандартной скорости перемешивания, а также стабильных и высоких физико-механических показателей необходимо ограничить количество сфрезерованного асфаль-

тобетона – не более 30-35% от массы минерального материала при подаче предварительно нагретого асфальтогранулята до 110°C на разогретый каменный материал.

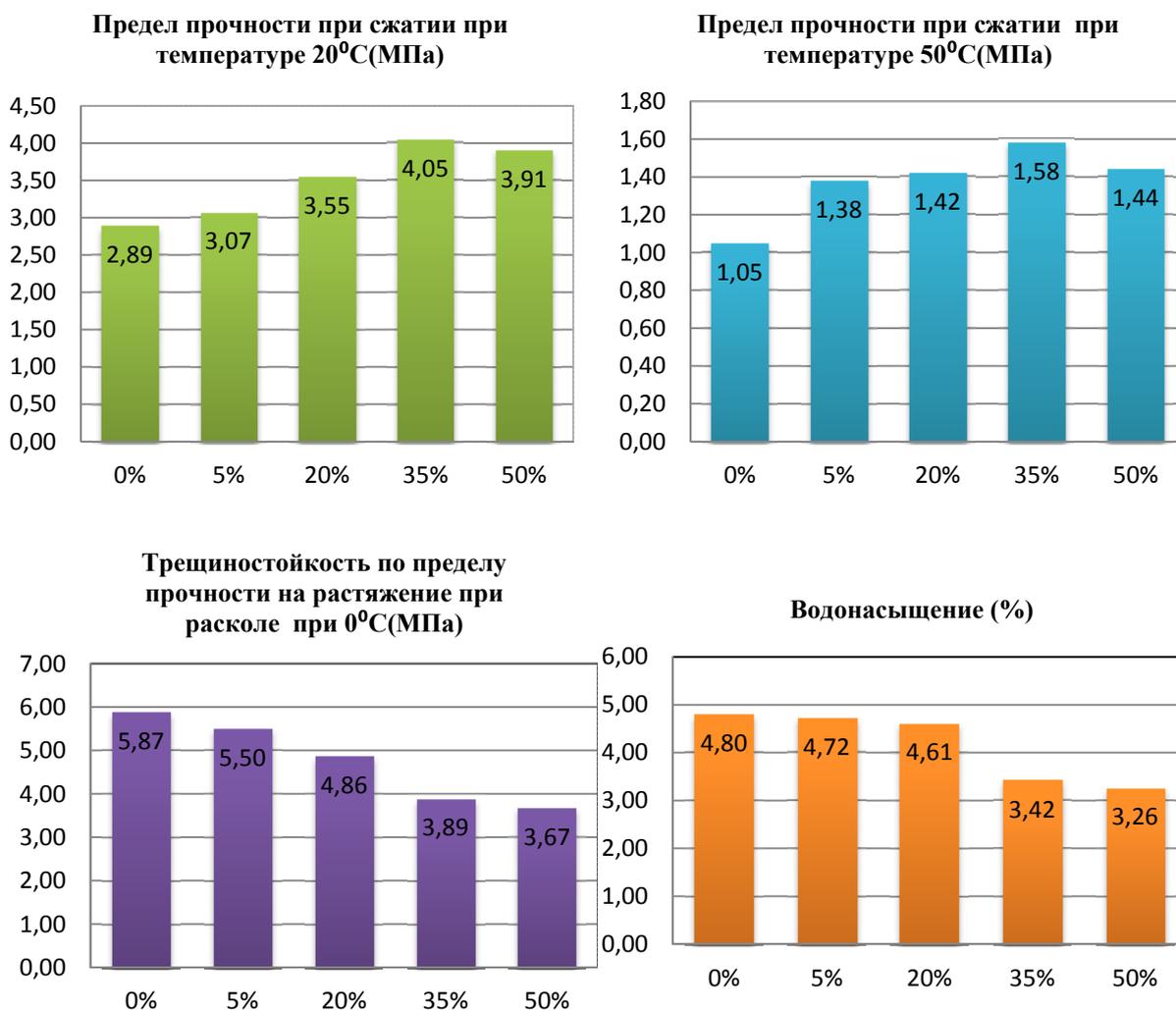


Рисунок 1 – Физико-механические показатели исследуемых смесей типа А с различным содержанием асфальтогранулята

Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

- снижение показателя водонасыщения и повышение водостойкости асфальтобетонных смесей объясняется тем, что в асфальтогрануляте уже содержатся, обработанные вяжущим зерна, поэтому новое вяжущее легче распределяется в асфальтобетонной смеси, повышая тем самым ее однородность и снижая пористость [1].

- увеличение количества асфальтогранулята, при его горячей подаче обеспечивает возрастание предела прочности при сжатии при температурах 20 и 50°C, что обусловлено лучшей обволакиваемостью и однородностью в процессе перемешивания;

- в то же время с увеличением количества асфальтогранулята наблюдается снижение предела прочности при сжатии при 0°C и показателя прочности на растяжение при расколе. Это может быть объяснено образованием более прочных адгезионных связей несколько состарившегося битума с минеральным материалом во вводимом асфальтогрануляте, что приводит к повышению сцепления и снижению угла внутреннего трения [1, 4].

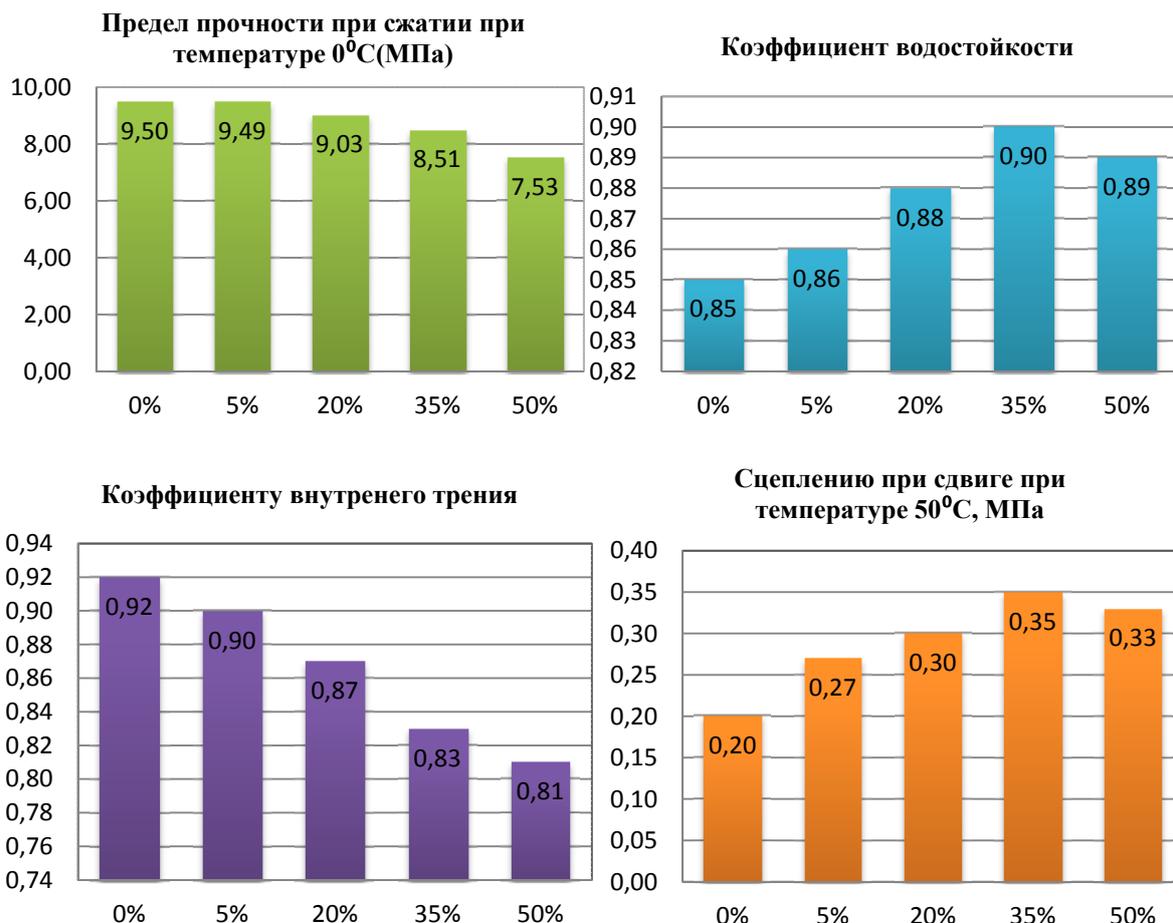


Рисунок 2 – Физико-механические показатели исследуемых смесей типа А с различным содержанием асфальтогранулята

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что использование сфрезерованного асфальтобетона для приготовления асфальтобетонных смесей является очень эффективно, так как позволяет получить существенную экономию кондиционных материалов, а так же решает вопрос утилизации старого асфальтобетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черных, Д.С. Оценка влияния количества асфальтогранулята и технологии его подачи на свойства приготавливаемых асфальтобетонных смесей [Текст] / Д.С. Черных, Д.А. Строев, Д.В. Задорожный // Инженерный вестник Дона: электронный научный журнал, 2013. – №4. – URL: <http://www.ivdon.ru>.
2. Костельов, М.П. Технология холодного ресайклинга способна быстрее, дешевле и больше ремонтировать покрытий на дорогах России [Текст] / М.П. Костельов // Дорожная Техника. – 2004. – №3. – С. 98-102.
3. Бахрах, Г.С. Свойства асфальтогранулобетона (АГБ) – продукта холодной регенерации дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием [Текст] / Г.С. Бахрах // Науч.-техн. информ. сб. – М.: Информавтодор, 1999. – Вып. 12 – 32 с.
4. Колбановская, А.С. Дорожные битумы [Текст] / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. – М.: Транспорт, 1973 – 246 с.
5. Бахрах, Г.С. Холодная регенерация дорожных одежд нежесткого типа [Текст] / Г.С. Бахрах // Автомоб. дороги: Обзорн. информ. – М.: Информавтодор, 1999. – Вып. 6.

Черных Дмитрий Сергеевич

Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону

Кандидат технических наук, ассистент кафедры «Автомобильные дороги»

Тел.: +7 (863) 201-91-65

E-mail: chdmity@nm.ru

Задорожний Денис Владимирович

Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги»

Тел.: +7 (863) 201-91-65

D. CHERNYKH, D. ZADOROZHNIY

ASPHALT GRANULES AS A PART OF THE HOT DENSE ASPHALT CONCRETE MIXTURES OF TYPE A

The article presents the analysis of the influence of content of asphaltgranulate on physico-mechanical properties of asphalt concrete mixture, type A. On the basis of the results of experimental researches it is established that the optimal number of milled asphalt is not more than 30-35% of the mass of the mineral material. With more content there was a decrease of physical-mechanical properties.

Keywords: asphaltgranulate, milled asphalt, asphalt concrete type A.

BIBLIOGRAPHY

1. Chernyh, D.S. Ocenka vlijanija kolichestva asfal'togranuljata i tehnologii ego podachi na svojstva prigo-tavlivaemyh asfal'tobetonnyh smesej [Tekst] / D.S. Chernyh, D.A. Stroev, D.V. Zadorozhnyj // Inzhenernyj vestnik Dona: jelektronnyj nauchnyj zhurnal, 2013. – №4. – URL: <http://www.ivdon.ru>.
2. Kostel'ov, M.P. Tehnologija holodnogo resajklinga sposobna bystree, deshevle i bol'she remontirovat' pokrytij na dorogah Rossii [Tekst] / M.P. Kostel'ov // Dorozhnaja Tehnika. – 2004. – №3. – S. 98-102.
3. Bahrah, G.S. Svojstva asfal'togranulobetona (AGB) – produkta holodnoj regeneracii dorozhnyh odezhd s asfal'tobetonnyh pokrytiem [Tekst] / G.S. Bahrah // Nauch.-tehn. inform. sb. – M.: Informavtodor, 1999. – Vyp. 12 – 32 s.
4. Kolbanovskaja, A.S. Dorozhnye bitумы [Tekst] / A.S. Kolbanovskaja, V.V. Mihajlov. – M.: Transport, 1973 – 246 s.
5. Bahrah, G.S. Holodnaja regeneracija dorozhnyh odezhd nezhestkogo tipa [Tekst] / G.S. Bahrah // Avtomob. dorogi: Obzorn. inform. – M.: Informavtodor, 1999. – Vyp. 6.

D. Chernykh

Rostov state building university, Rostov-on-don

Candidate of technical science, assistant of the department «Motor road»

Ph.: +7 (863) 201-91-65

E-mail: chdmitriy@nm.ru

D. Zadorozhnyy

Rostov state building university, Rostov-on-don

Candidate of technical Sciences, professor of the department «Motor road»

Ph.: +7 (863) 201-91-65

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного автора**, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем – 500 печатных знаков;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте www.gu-unprk.ru

Адрес учредителя журнала

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29
+7 (4862) 42-00-24
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.В. Солопов
Компьютерная верстка С.В. Солопов

Подписано в печать 19.05.2014 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 4,88.
Тираж 400 экз.
Заказ № 36/14П2

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.